

Automated Electronic System to Prevent Freezing Damage to Crops

IEEE EDS - SIGHT / Stage 1

Angie Katherine Álvarez Alfonso

Angie Lorena Hernández Oropeza



Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja.

Facultad Ingeniería Electrónica

Año 2021

Automated Electronic System to Prevent Freezing Damage to Crops

IEEE EDS - SIGHT / Stage 1

Angie Katherine Álvarez Alfonso

Angie Lorena Hernández Oropeza

Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de: Ingeniero Electrónico

Director

Ing. Carlos Cardona Coy

Co-Director

Ing. José Ricardo Casallas Gutiérrez



Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja.

Facultad Ingeniería Electrónica

Año 2021

Exoneración de Responsabilidades

Las ideas y afirmaciones presentes en este documento son responsabilidad del autor. La Universidad Santo Tomás no se hace responsable de las consecuencias que pueda generar este trabajo.

DEDICATORIA

“Agradezco primordialmente a Dios por permitirme llegar a este punto de mi vida, a mi mamá Alba Ofelia Alfonso Amado por ser mi guía y mi polo a tierra, por enseñarme a nunca rendirme a pesar de cualquier dificultad, a mi papá Rafael Álvarez Grimaldos por ser un apoyo incondicional en este proceso de mi vida por inculcar siempre que con trabajo honesto y arduo se puede lograr lo que se quiere; a mis hermanas por brindarme su amor y ser inspiración para mi vida, finalmente a mis sobrinos que se han convertido en mi motor de vida”

Angie Katherine Álvarez Alfonso

“Dedico y agradezco este trabajo a mi familia que son mi mayor motivación, a mi padre Jorge Eliecer Hernández Manchego por su amor y brindarme su ayuda incondicionalmente. A mi madre Elibeth Oropeza Moreno por formarme y brindarme su amor.” Gracias por la confianza, esfuerzos y ser mi fortaleza para permitirme lograr con éxito mi carrera.

Angie Lorena Hernández Oropeza

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primeramente a Dios por nuestra vida, salud y sabiduría a lo largo de nuestros estudios.

A nuestras familias por habernos formado con los mejores principios para convertirnos en las mujeres que hoy en día somos y que nos permitieron cumplir este proyecto de vida.

Agradecemos a nuestros directores por darnos su voto de confianza, el cual nos permitió realizar el desarrollo del proyecto. Al ingeniero Carlos Cardona por su disposición, conocimientos compartidos, acompañamiento y dedicación de inicio a fin en este proceso. Al ingeniero Ricardo Casallas por su colaboración y enseñanza brindada en el desarrollo de este proyecto.

A todas las personas que creyeron en nosotras y en la realización de este proyecto, que nos compartieron sus opiniones y aportaron a nuestro conocimiento sin recibir nada a cambio.

A nuestros amigos y compañeros con quienes compartimos en el transcurso del aprendizaje profesional, por convertir todos los momentos en risas y subirnos el ánimo cuando era necesario, además de brindarnos su apoyo, consejos y especialmente por permitirnos conocerlos como personas.

Notas de aceptación:

Firma del Director

Firma del Codirector

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja, noviembre de 2021

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	7
1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN	2
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3.1 FORMULACIÓN DE PREGUNTAS	3
3.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
3.3 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	6
4. OBJETIVOS	7
4.1 Objetivo General	7
4.2 Objetivos específicos	7
5. MARCO REFERENCIAL	8
5.1 Antecedentes	8
5.1.1 Áreas de Colombia con susceptibilidad a heladas (IDEAM,2018)	9
5.1.2 Probabilidad de heladas en el altiplano Cundiboyacense (FENALCE, 2021)	9
5.1.3 Registros históricos de heladas en Boyacá (IDEAM, 1971 - 2011)	10
5.1.4 Número total de heladas registradas	11
5.2 Marco Teórico	12
5.2.1. Definición del fenómeno de las heladas	12
5.2.2. Tipos de heladas	12
5.2.3 Sistemas de riego	14
5.2.4 Sensores	15
5.3. Marco Legal	16
5.3.1 Constitución política de Colombia (Artículo 65).	16
5.3.2 Misión del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.	16
5.3.3 Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (Decreto 1071 de 2015, Artículo 1.1.1.1).	16
6.1 Fase 1. Análisis de variables físicas	17
6.2 Fase 2. Selección de zona susceptible a heladas	17
6.3 Fase 3. Diseño de prototipo	17
6.5 Fase 5. Implementación	18
7. DESARROLLO	19
7.1 Capítulo I: Condiciones climáticas para pronosticar presencia de heladas.	20
7.2 Capítulo II: Selección del sistema de control adecuado para prevenir daños de heladas por radiación	22

7.3 Capítulo III: Sensado de temperatura y humedad, control de actuadores.	23
7.4 Capítulo IV: Diseño de alimentación	24
7.4.1 Recurso solar y dimensionamiento de paneles solares	24
7.4.2 Radiación solar	24
7.4.3 Horas solar pico	25
7.4.5 Método de carga	28
7.5 Capítulo V: Implementación de etapas	29
7.5. 1. Diseño para implementación del sistema de riego para control de heladas en Tuta, Boyacá, Colombia.	37
8. Otros aportes	46
8.1 Presupuesto	46
9. Conclusiones	47
10. ANEXOS	48
11. REFERENCIAS	51
12. BIBLIOGRAFÍA	53

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 Definición y comparación de los tres tipos de heladas. Fuente: Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, realizando adaptación por los autores.</i>	25
<i>Tabla 2 . Definición y comparación de los dos tipos de riego. Fuente: Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, realizando adaptación por los autores.</i>	26
<i>Tabla 3 Características del panel solar. Fuente: Autor.</i>	38
<i>Tabla 4 Consumo energético diario en corriente continua. Fuente: Autor.</i>	39
<i>Tabla 5 Consumo energético diario en corriente alterna. Fuente: Autor.</i>	39
<i>Tabla 6 Consumo energético total. Fuente: Autor</i>	39
<i>Tabla 7 Características de la batería. Fuente: Autor.</i>	40
<i>Tabla 8 Tabla presupuesto etapa 1. Fuente: Autores.</i>	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Estadísticas del Banco Mundial (2015 - 2020). Fuente: Autor	20
Figura 2 Áreas de mayor riesgo en Colombia. Fuente: IDEAM	22
Figura 3 Probabilidad de heladas en el altiplano Cundiboyacense, febrero 2021. Fuente: FENALCE	22
Figura 4 Temperaturas mínimas registradas en el departamento de Boyacá durante los años 1971 - 2011. Fuente: Bancos de datos, IDEAM	23
Figura 5 Número total de heladas en los principales municipios de los departamentos de Boyacá Cundinamarca y durante los años 1977-2011. Fuente: IDEAM.	24
Figura 6 Riego por goteo. Fuente: NETAFIM.	27
Figura 7 Riego por aspersión. Fuente: MUNDORIEGO.	27
Figura 8 Módulo de temperatura LM35. Fuente: Hardware Libre	28
Figura 9 Sensor de humedad DHT11. Fuente: Electronilab	28
Figura 10 Fases del diseño metodológico para el desarrollo del Proyecto.	30
Figura 11 Diagrama de bloques para el desarrollo del Prototipo.	32
Figura 12 Diseño final propuesto. Fuente: Autor.	32
Figura 13 Temperatura mínima de Tunja entre los años 1972 y 2007. Fuente: IDEAM	33
Figura 14 Temperatura mínima de Tunja entre los años 1972 y 2007. Fuente: IDEAM [16]	33
Figura 15 Gráfica Número de heladas en Tunja a partir de 1985 a 2007. Fuente: Autor [15]	34
Figura 16 Métodos de control activo. Fuente: FAO. [16]	35
Figura 17 Aspersores de impacto. Fuente: Paisajismo&Riego.	36
Figura 18 Código Arduino. Fuente: Autor.	36
Figura 19 Ecuación para traducir datos del sensor LM35. Fuente: Autor.	37
Figura 20 Atlas radiación solar en Colombia. Fuente: IDEAM.	38
Figura 21 Radiación solar en el municipio de Tuta, Boyacá.	38
Figura 22 Diseño sistema de control. Fuente: Autor.	42
Figura 23 Resultados interpretación de sensores y activación actuadores. Fuente: Autores	43
Figura 24 Divisor de tensión. Fuente: Hardware libre	43
Figura 25 Aumentó de humedad al 50%. Fuente: Autores	44
Figura 26 Diseño final PCB. Fuente: Autor.	45
Figura 27 Diseño final PCB. Fuente: Autor.	45
Figura 28 Conexión electrobomba con electroválvula. Fuente: Autor.	46
Figura 29 Conexión de aspersores prueba laboratorio. Fuente: Autores	46
Figura 30 Área seleccionada para la implementación, Tuta Boyacá. Fuente: Google Earth	47
Figura 31 Tipos de aspersores. Fuente: Autor	48
Figura 32 Análisis de aspersores. Fuente: Autor	49
Figura 33 Análisis módulo 1. Fuente: Autor.	50
Figura 34 Análisis módulo 2. Fuente: Autor.	51
Figura 35 Análisis módulo 3. Fuente: Autor.	52
Figura 36 Análisis módulo 4. Fuente: Autor.	53
Figura 37 Análisis módulo 5. Fuente: Autor.	54
Figura 38 Análisis módulo 6. Fuente: Autor.	55
Figura 39 Dimensionamiento total para el municipio de Tuta, Boyacá. Fuente: Autor.	55
Figura 40 Dimensionamiento total para el municipio de Tuta, Boyacá. Fuente: Autor.	56

GLOSARIO

H

Helada

Enfriamiento del aire próximo al suelo por debajo de la temperatura de congelación del agua.

Humedad

Agua de la que está impregnado un cuerpo o que, vaporizada, se mezcla con el aire.

S

Sistema de riego por aspersión

Sistema caracterizado por ser aplicado mediante aspersores cuyas boquillas disponen de una presión relativamente alta proporcionada por una instalación de tuberías fijas o móviles.

Sublimación del vapor de agua

Cambio de estado físico donde el vapor del agua contenido en el aire se convierte directamente en cristales de hielo, sin pasar por el estado líquido y siempre en temperaturas por debajo de los 0 ° Celsius.

T

Temperatura

Magnitud física relacionada con la energía de agitación de las moléculas, que se percibe por la sensación de calor o frío. Su unidad en el SI es el Kelvin, cuyo símbolo es K.

RESUMEN

El presente trabajo muestra el diseño e implementación de un prototipo capaz de mitigar el daño en las pasturas producidas por las llamadas “heladas”; Para dar inicio al desarrollo de este prototipo se da una descripción de los tipos de heladas existentes en el país, mostrando cuál tiene mayor incidencia en la región Cundiboyacense y que fenómeno afecta al cultivo y/o pasturas.

El desarrollo se lleva a cabo de la siguiente manera, etapa de instrumentación encargada de la medición de temperatura y humedad presentes en el ambiente, variables importantes las cuales permiten saber cuándo se va a presentar el fenómeno de la helada, por esta razón se inicia la investigación de variables físicas que puedan pronosticar la existencia de las heladas, teniendo en cuenta que es un tipo de congelación en los cultivos, se estudia la variable de temperatura y en qué condiciones críticas se comienza a tener afectaciones en las pasturas, además se realizan investigaciones de % de humedad relativa, también se explica porque se debe tener en cuenta la humedad como variable que pronostica una helada. Además, en el contenido se encuentra la explicación a la selección del método de control responsable para crear un microclima alrededor de la plantación y/o área seleccionada. Como etapa final se puede visualizar los resultados de diseño del sistema de energización mediante celdas fotovoltaicas.

Finalmente, se construye una App móvil la cual permite la adquisición de datos por medio de la comunicación entre el módulo bluetooth y la tarjeta programable arduino con el fin de conocer los datos de los sensores agregados.

1. INTRODUCCIÓN

La industria agropecuaria ha venido presentando problemas a causa de los fenómenos climáticos, esto debido a la poca sistematización en los procesos agrícolas. Uno de los factores climáticos con más incidencia en el sector de la agricultura es el fenómeno de la helada. Según el IDEAM, el fenómeno de la “helada” en Colombia es bastante frecuente, más de lo que podría esperarse y es causante de grandes pérdidas en la agricultura.

En la actualidad existen tres tipos de heladas, son conocidas como: por advección, que se produce a causa de la entrada y acumulación de aire frío en las capas bajas, por lo general no afectan a los frutales ya que se produce en invierno; heladas por evaporación, estas no producen mayores daños en los cultivos generalmente se produce en primavera. Por último, la helada por radiación, originada por el enfriamiento nocturno, es la más dañina en los frutales durante la floración. El daño que provoca este frío nocturno, no es por causa de las frías temperaturas sino principalmente a la formación de hielo extracelular, una combinación de estos y otros factores determina la temperatura a la cual se forma el hielo dentro del tejido de las plantas y en qué momento se produce el daño. [1]

El proyecto tiene como finalidad aportar un diseño prototipo para conocer cuando existe la presencia de heladas por radiación, para lograr la selección de un método de prevención necesario que disminuya o controle los daños causados por este fenómeno. Con lo anterior, brindar información acerca del comportamiento de este fenómeno, en qué condiciones afecta y qué proceso se puede realizar para que el agricultor proteja su cultivo. Pero principalmente aportar una solución a los agricultores en especial del sector Cundiboyacense y para cultivos de pastos de alimento para vacas productoras de leche.

2. JUSTIFICACIÓN

Principalmente en el altiplano cundí-boyacense las heladas producen grandes pérdidas económicas a los productores, desabastecimiento en los mercados y a su vez presenta alza en los precios de los productos afectados. Aunque la meteorología ha estado constantemente al servicio de la agricultura, aún se siguen presentando grandes pérdidas por el fenómeno conocido como helada, pese a que en muchas ocasiones es posible predecirlo, actualmente no se cuenta con sistemas eficientes ni automáticos para proteger tanto los cultivos de las bajas temperaturas como las condiciones extremas que hacen que los líquidos internos de las plantas lleguen al grado en el que cambian de líquido a sólido produciendo su congelación, que en la mayoría de los casos causa daños irreversibles en la estructura celular de la planta. Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, por las notables falencias que se presentan en el agro colombiano en cuanto a tecnificación; se realiza la investigación orientada a estudiar el origen de este fenómeno también las condiciones en que se presenta para luego diseñar un sistema que se encargue de proteger los cultivos con el fin de lograr que completen su ciclo productivo satisfactoriamente o disminuir el porcentaje de daño.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

- ¿Cómo se puede proteger pasturas en períodos largos e intensos de un clima con heladas de irradiación en zonas de altitud Cundiboyacense?
- ¿Cómo un sistema electrónico podrá mitigar el efecto de las heladas en los pastos de la zona Cundiboyacense?
- ¿Cuál es el sistema de control más eficiente e idóneo para contrarrestar las heladas en pastos y cultivos?

3.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En Colombia, cada año se manifiestan las “heladas” en zonas ubicadas a una altura por encima de 2.400 metros. Este fenómeno ocurre cuando la temperatura del aire desciende de los cero grados Celsius, condición climática que se presenta principalmente durante los meses de diciembre, enero, febrero y parte de marzo. En estos meses son los de mayor presencia de heladas debido a sus bajas temperaturas en la madrugada, poca nubosidad, bajas precipitaciones y vientos en calma. En la zona central del país la ocurrencia de temperaturas de aire bajo 0°C puede tener tres causas: heladas por advección, radiación y evaporación (Tabla 1).

El Altiplano Cundiboyacense se caracteriza por el desarrollo de productores del agro y lácteos en sus zonas rurales, por lo cual se debe prestar atención a los períodos de altas temperaturas en el día y descensos significativos en la madrugada, ya que se puede ocasionar “heladas”; lo que genera afectaciones a las pastura y cultivos como la papa, frutales, hortalizas, flores, maíz, entre otras. Las heladas junto con la falta de control y prevención sobre el cultivo, disminuye la producción del agricultor y causan millonarias pérdidas. Además, los métodos caseros que se emplean usualmente para prevenir y mitigar el efecto de las heladas requieren de mucho tiempo y personal.

En la actualidad se conocen dos tipos de métodos de control, los cuales son:

Métodos de control pasivo: Son los que están orientados a prevenir daños en periodos de largo plazo, por lo tanto, se elaboran antes de que ocurra la helada. Estos tienen la característica de no utilizar fuentes de calor adicionales al medio, además cuenta con la ventaja de ser más económico en comparación con el otro método, pero menos efectivos, ya que no son suficientes para contrarrestar los efectos y por lo general se termina recurriendo a la necesidad de utilizar métodos activos. Algunos métodos por control pasivo son:

- Selección del terreno de cultivo.
- Selección de especies.
- Manejo del drenaje de aire frío.
- Manejo de humedad del suelo.
- Uso de cobertores.
- Cobertura del terreno con árboles.
- Poda adecuada.
- Pintar troncos.
- Control bacteriano.
- Gestión de la nutrición del cultivo.
- Riego adecuado.

- Evitar laboreo del suelo.
- Calendario de siembra para cultivos anuales.

Métodos de control activo: Son aquellos que se implementan al momento que se manifiesta la helada o durante la misma. Se caracterizan por usar equipos para la protección y moderación de los daños mediante fuentes de calor adicionales, por lo que son menos económicos debido a que se requiere de dispositivos especiales y sus respectivas instalaciones. Aunque también presentan la ventaja que estos dispositivos pueden emplearse en más aplicaciones. Algunos métodos por control activo son:

- Uso de calefactores: calefactores fijos, móviles, misceláneos, fogatas, humo, entre otros.
- Uso de ventiladores.
- Uso de aspersores.
- Helicópteros.
- Riego la superficie.
- Aislamiento con espumas.

Teniendo en cuenta que ya existen métodos anti heladas, se propone el desarrollo de un sistema de riego que permita proteger y mitigar las pasturas y cultivos, por el hecho de que al congelarse cada gramo de agua desprende 80 calorías de lo cual la planta absorbe una parte de este calor y así mismo la ayuda a mantenerse a una temperatura que le permite a la planta permanezca fuera de peligro, por lo tanto con un sistema de riego que logre mantener una cantidad de agua suficiente para cubrir la hoja, durante periodos constantes evitará que la temperatura descienda los 0 ° C.

3.3 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

El diseño del sistema de control anti-heladas, se quiere implementar en el municipio de Tuta Boyacá. Siendo un municipio que se ha visto afectado por heladas y uno de los productores de leche en el departamento de Boyacá, por lo que es importante proteger los pastos con los que las vacas se alimentan. Se utiliza el método de aspersión por encima de la planta, siendo un método factible para el control de heladas porque tiene la ventaja que el consumo de energía y utiliza una fuente natural para actuar cuando se presenta el fenómeno de las heladas, por lo que en el sector de la finca en Tuta con es bajo a comparación de los demás como ventiladores. Para utilizar este método es de vital importancia contar con disponibilidad hídrica motivo por el cual se realizó investigación del tamaño y ubicación de la finca en Tuta. A continuación, se indica la ubicación de la finca y en la figura 40, se muestra el mapa de relieve con el tamaño de la zona, también contiene la ubicación de la fuente hídrica que pasa por la zona, la cual se debe tener en cuenta para adquirir el agua y transportarla por medio de una electrobomba, se debe tener en cuenta para el prototipo se utilizó una electrobomba con potencia de 1 hp equivalente a 745,7 W.

Ubicación finca del municipio Tuta, 5°41'32.9"N 73°14'54.9"W.

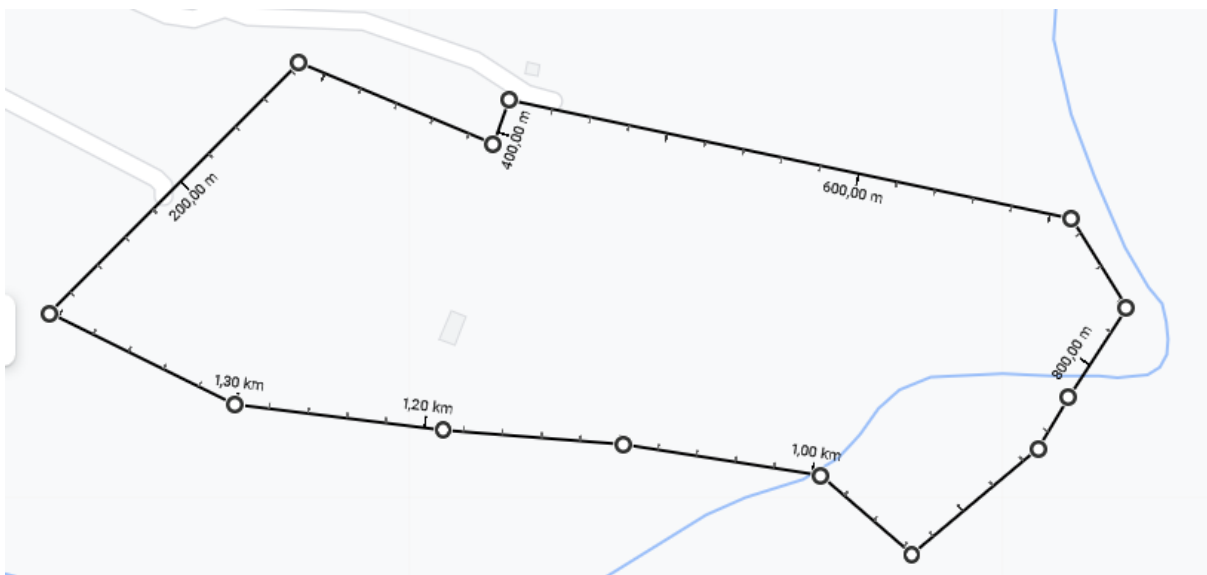


Figura 41. Relieve finca Tuta. Fuente: Autores.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema electrónico autónomo capaz de mitigar el efecto de las heladas en las pasturas del municipio de Tuta, Boyacá.

4.2 Objetivos específicos

- Establecer las condiciones climáticas necesarias para conocer la presencia de una helada.
- Seleccionar un sistema de control idóneo para aplicar métodos de prevención del daño celular en las plantas por causa de las heladas por radiación.
- Interpretar el sensado de temperatura y humedad en el aire para definir los parámetros del diseño del sistema de control.
- Diseñar un sistema de alimentación mediante energía solar que permita abastecer todo el sistema.
- Implementar un sistema integrado para aminorar los daños en los cultivos.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 Antecedentes

Colombia es un país con alta producción agrícola. Según estadísticas del Banco Mundial, en los últimos 5 años Colombia ha tenido un Producto Interno Bruto (PIB) promediado alrededor de 6,5 % como aporte desde el sector de la agricultura [12], factor que hace caracterizar al país como productor de su propio alimento en cualquier época del año, con ventajas como el clima tropical y la variedad de suelos térmicos.



Figura 1 Estadísticas del Banco Mundial (2015 - 2020). Fuente: Autor

Además, según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el 99,6 % del territorio colombiano está conformado por zonas rurales [13], cifra que da una amplia posibilidad de producción de cultivos agrícolas, que con frecuencia se observan en diferentes zonas del país. Sin embargo, pese a la alta productividad agrícola, existen dificultades que perjudican los resultados de los procesos productivos, sobre todo cuando se ven involucrados factores como plagas, escasa conectividad con centros de comercialización y condiciones climatológicas extremas. Dentro de estas últimas, se encuentran las heladas; fenómeno típico en las madrugadas de las zonas con suelos térmicos fríos, entre ellas, el altiplano Cundiboyacense. Estas heladas, se caracterizan por formar hielo sobre las hojas de las plantas, haciendo que estas se marchiten. Cuando esto ocurre, recuperar las plantas se vuelve escasamente posible, comprometiendo una buena parte o la totalidad de la cosecha. Esto, sumado con los altos costos de insumos para la producción, suele conllevar a la excesiva reducción de las ganancias esperadas. Aquí, se hace importante poder garantizar que las cosechas sean fructíferas y competitivas. Para ello, es necesario invertir en tecnificación de cultivos, buscando evitar cualquier posibilidad de pérdida. Una estrategia altamente significativa, consiste en poder evitar los efectos que las heladas tienen sobre las plantas de los cultivos agrícolas, donde es importante poder retirar el hielo de las hojas desde el mismo momento en que esta toma lugar en la planta.

5.1.1 Áreas de Colombia con susceptibilidad a heladas (IDEAM,2018)

Las áreas más susceptibles a heladas se encuentran en los Altiplanos fríos, principalmente el Altiplano Cundiboyacense en la Cordillera Oriental y los altiplanos de Túquerres e Ipiales en Nariño y el de Paletará al suroccidente del país.

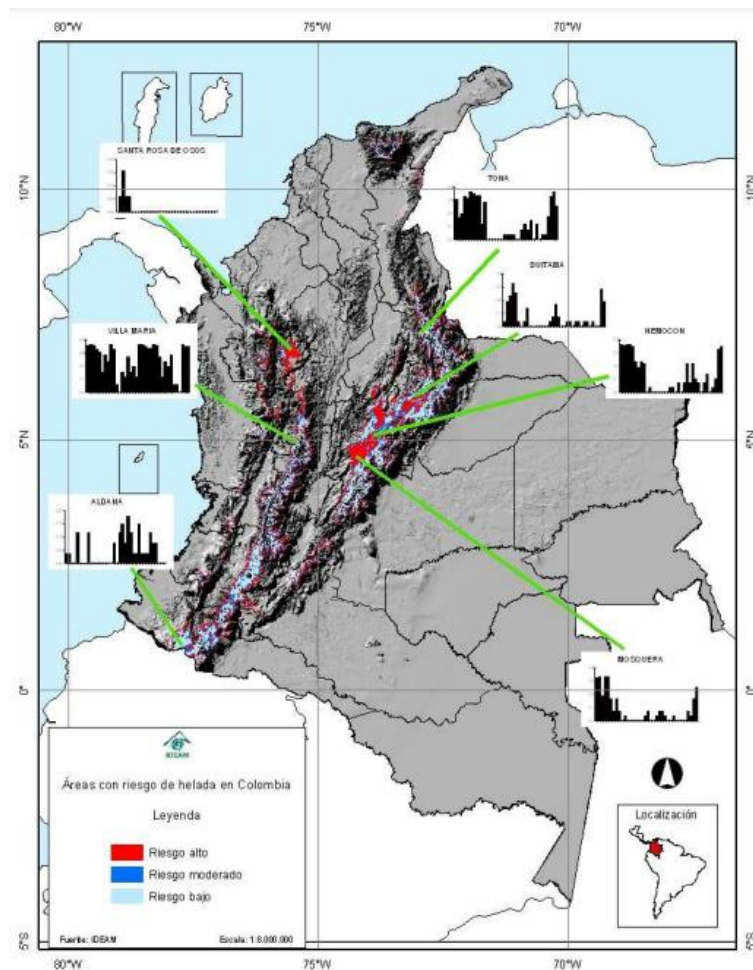


Figura 2 Áreas de mayor riesgo en Colombia. Fuente: IDEAM

5.1.2 Probabilidad de heladas en el altiplano Cundiboyacense (FENALCE, 2021)

A continuación, se muestra el boletín de heladas en el altiplano Cundiboyacense del 08 al 15 de febrero de 2021; En la figura 2 se muestra la probabilidad de heladas y pronósticos según FENALCE.

<u>Escala de colores de probabilidad de helada</u>		<u>Baja probabilidad</u> 0% – 40%		<u>Moderada probabilidad</u> 41% – 70%		<u>Alta probabilidad</u> 71% – 100%			
Día		Lunes 08/02	Martes 09/02	Miércoles 10/02	Jueves 11/02	Viernes 12/02	Sábado 13/02	Domingo 14/02	Lunes 15/02
Probabilidad de helada		5%	10%	15%	70%	40%	35%	25%	15%
Nubosidad	Madrugada	Parcialmente Cubierto	Parcialmente Cubierto	Parcialmente Cubierto	Despejado	Parcialmente Cubierto	Parcialmente Cubierto	Parcialmente Cubierto	Parcialmente Cubierto
	Mañana	Parcialmente Cubierto	Parcialmente Cubierto	Parcialmente Cubierto	Parcialmente Cubierto	Parcialmente Cubierto	Parcialmente Cubierto	Parcialmente Cubierto	Parcialmente Cubierto
	Tarde	Cubierto	Cubierto	Cubierto	Parcialmente Cubierto	Cubierto	Mayormente Cubierto	Cubierto	Mayormente Cubierto
	Noche	Cubierto	Cubierto	Ligeramente Cubierto	Parcialmente Cubierto	Cubierto	Parcialmente Cubierto	Cubierto	Parcialmente Cubierto
Pronóstico del estado del tiempo		Lluvias.	Lluvias.	Tiempo seco.	Tiempo seco.	Lluvias.	Lluvias dispersas.	Lluvias.	Lluvias dispersas.

Figura 3 Probabilidad de heladas en el altiplano Cundiboyacense, febrero 2021. Fuente: FENALCE

5.1.3 Registros históricos de heladas en Boyacá (IDEAM, 1971 - 2011)

A continuación, en la figura 3. Se presentan los promedios de temperatura mínima ubicados en los municipios más susceptibles a heladas ocurridos en el Altiplano Cundiboyacense. El registro histórico comprende el periodo entre 1971 y el 2011, ubicadas entre los 2500 y 3000 m.s.n.m. Según el IDEAM.

Estacion		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
UPTC	Promedio	7,34	8,15	9,02	9,81	9,79	9,21	8,55	8,48	8,19	8,79	9,04	8,05
Tunja	Absoluta	-0,6	-1,1	-0,2	3,8	4	2,2	1,8	2,2	3,4	3,2	3	0,4
BOY	dia/año	3/10	5/85	7/08	3/08	23/06	24/94	1/85	29/97	6/95	10/88	26/85	19/85
Apto A Lleras C	Promedio	3,47	4,21	5,88	7,58	7,70	6,78	5,90	5,89	5,55	6,76	7,28	4,99
Sogamoso	Absoluta	-6,2	-8,8	-6,8	-4	-0,8	-0,9	-4	-2,4	-2,4	-2,6	-1,2	-7
BOY	dia/año	29/01	15/95	24/92	15/87	25/99	4/08	13/86	29/97	30/09	9/09	12/87	19/85
Villa Carmen	Promedio	7,42	8,07	8,83	9,41	9,54	9,10	8,56	8,44	8,01	8,40	8,76	7,91
Samaca	Absoluta	-2	-2,9	1,2	1	1,2	1,2	-1,4	0,4	1	1,2	1,4	-4,2
BOY	dia/año	3/10	4/85	13/01	30/84	8/84	29/89	1/85	29/97	17/92	24/88	24/01	30/93
Tunguavita	Promedio	5,70	6,39	7,50	8,74	8,69	7,55	6,70	6,65	6,59	7,85	8,31	6,83
Paipa	Absoluta	-4	-8	-1,9	1,4	1	-0,2	-1,4	-1,6	-0,4	-1,4	1,2	-3,8
BOY	dia/año	27/02	5/85	24/92	3/08	25/99	16/89	13/86	29/97	15/86	9/09	22/02	17/87
Surbata Bonza	Promedio	4,99	5,40	6,73	8,18	7,91	6,91	6,09	6,15	5,94	7,13	7,47	6,35
Duitama	Absoluta	-6,6	-8	-4,4	1	0	-2	-1,4	-2	-0,2	-1,2	-0,3	-4
BOY	dia/año	4/10	4/07	25/10	14/87	6/84	16/89	1/85	29/97	16/86	21/91	12/87	18/85
Chita	Promedio	5,10	5,70	6,58	7,44	7,76	7,45	7,08	6,98	6,64	6,75	6,66	5,65
Chita	Absoluta	0	0	0	0	2,2	0	1,4	-1	-2	1	2	0,8
BOY	dia/año	18/80	12/80	5/80	2/80	22/06	24/80	15/95	1/80	10/80	21/80	28/80	10/84
La Copa	Promedio	5,60	6,15	7,60	8,44	8,53	7,67	7,24	7,27	6,95	7,41	7,80	6,83
Toca	Absoluta	-4,8	-9,8	-1,2	0,2	3	2,2	1,2	0,2	0,4	1,2	1,8	-2,4
BOY	dia/año	4/10	2/07	1/08	18/07	7/03	11/00	6/03	9/00	21/99	24/08	29/99	31/09
Belencito	Promedio	7,88	7,96	9,10	10,00	10,01	9,34	8,78	8,79	8,47	9,23	9,17	8,26
Nobsa	Absoluta	-2	0	1	1,4	4	2,6	1,4	0,5	0,1	0	0,2	-3,2
BOY	dia/año	26/91	4/07	8/97	25/91	5/85	21/97	19/86	16/97	30/97	8/97	23/97	18/85
San Rafael	Promedio	5,73	6,48	7,74	8,96	9,22	8,27	7,42	7,33	7,41	8,14	8,19	6,87
Tibasosa	Absoluta	-4,2	-4,2	-1,5	0,5	1,6	-0,4	0,8	-0,8	1,5	1	1	-1,2
BOY	dia/año	27/02	5/85	12/01	15/80	6/84	11/94	1/85	19/85	18/90	21/91	29/78	18/85

Figura 4 Temperaturas mínimas registradas en el departamento de Boyacá durante los años 1971 - 2011. Fuente: Bancos de datos, IDEAM

5.1.4 Número total de heladas registradas

Heladas presentadas en los municipios más susceptibles a este fenómeno localizados entre los 2500 y 3000 m.s.n.m, durante los periodos de 1977 – 2011 para los departamentos de Cundinamarca y Boyacá.

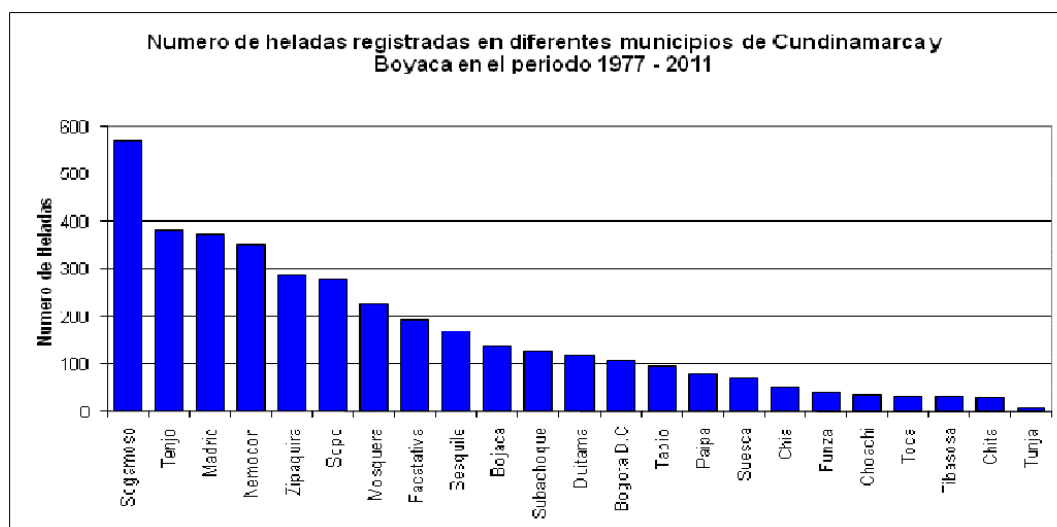


Figura 5 Número total de heladas en los principales municipios de los departamentos de Boyacá Cundinamarca y durante los años 1977-2011. Fuente: IDEAM.

5.2 Marco Teórico

5.2.1. Definición del fenómeno de las heladas

En términos meteorológicos se dice que la helada es la ocurrencia de una temperatura igual o menor a 0°C a un nivel de 2 metros sobre el nivel del suelo, es decir al nivel reglamentario al cual se ubican las casetas de medición meteorológica. En esta definición entran en juego aspectos fisiológicos, como la resistencia o susceptibilidad del cultivo a bajas temperaturas en sus diferentes estados de desarrollo, altura de la planta sobre el nivel del suelo y la temperatura de la hoja causando formaciones de hielo sobre las hojas de las plantas, haciendo que estas se marchiten. [3] [2]

5.2.2. Tipos de heladas

En la siguiente tabla 1, se puede observar que existen 3 tipos de heladas: helada por advección, por radiación y por evaporación. Esta tabla indica las características y causas de la presencia de las ya mencionadas.

Tabla 1 Definición y comparación de los tres tipos de heladas. Fuente: Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, realizando adaptación por los autores.

HELADAS POR ADVECCIÓN	HELADAS POR RADIACIÓN	HELADAS POR EVAPORACIÓN
La helada por advección se produce por efecto de un frente de aire frío proveniente del Polo Sur que invade el continente y alcanza la zona central. El fenómeno se da en grandes extensiones, con temperaturas bajas durante todo el día y velocidades de viento superiores a 10 km/h. En áreas de laderas, la menor temperatura se observa en los sectores medios y altos por estar más expuestos a los vientos. Respecto a la temperatura del aire, ésta es prácticamente la misma en superficie como en altura y hace frío tanto en el día como en la noche.	La helada de radiación se origina por la pérdida de calor que sufren las plantas y el suelo y que ceden a la atmósfera durante la noche por medio del proceso de radiación. Es la helada típica de las regiones tropicales y son factibles de presentarse a partir de los 2500 metros sobre el nivel del mar. Estas heladas ocurren al presentarse un balance de energía negativo, es decir, cuando se pierde durante la noche mayor cantidad de energía de la ganada durante el día. En relación con los efectos externos que causan las heladas en las plantas, estas heladas se dividen a su vez en la helada blanca y la helada negra. La primera se produce a partir de gotas de rocío o por condensación sólida de la humedad del aire, entonces se forma hielo cristalino en forma de agujas o plumas sobre la superficie de las hojas, dando origen a la escarcha. Para que se produzca este fenómeno, la humedad absoluta del aire debe de ser lo suficientemente elevada.	Una helada es evaporativa cuando después de una precipitación la humedad relativa del aire disminuye, la vegetación intercepta parte de la precipitación reteniendo agua en el follaje y los troncos, se produce una intensa evaporación, el calor de evaporación a partir de la cual el agua tiene que cambiar del estado líquido al gaseoso se toma de las plantas y, en consecuencia, la temperatura de algunas plantas cae a límites que causan daños. La cantidad de agua evaporada, está en función de la humedad relativa, la temperatura y la velocidad del viento.

5.2.3 Sistemas de riegos

En la siguiente tabla 2, se puede observar que existen 2 tipos de riego: riego por aspersión y por goteo. Esta tabla indica las características y diferencias.

Tabla 2. Definición y comparación de los dos tipos de riego. Fuente: Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, realizando adaptación por los autores.

Riego por goteo	Riego por aspersión
El riego por goteo permite mantener el agua de la zona radicular en condiciones de baja tensión. Un sistema de riego por goteo logra eficiencias del 90-95 % en el empleo del agua y de los fertilizantes. El riego por goteo difiere mucho de los otros sistemas de riego, por lo que se debe administrar correctamente para aprovechar al máximo sus beneficios y evitar problemas. [5]	El sistema de riego por aspersión produce una lluvia controlada y localizada en un área en concreto y que ofrece una cobertura completa de la misma. Este sistema se puede ajustar tanto en la cantidad de agua que se emite durante el riego como en el marco de la plantación. [6]
 Figura 6 Riego por goteo. Fuente: NETAFIM.	 Figura 7 Riego por aspersión. Fuente: MUNDORIEGO. Este sistema está especialmente indicado para los cultivos que son más vulnerables porque las gotas de la lluvia no realizan una presión excesiva que pueda dañar lo plantado. Una ventaja que ofrece la aspersión frente a otros métodos de riego es la rapidez y la amplia cobertura que ofrece. Este sistema permite mantener tanto los niveles de humedad como los niveles térmicos deseados en la tierra.

5.2.4 Sensores

LM35

Este sensor de temperatura tiene una calibración de 1°C de variación. Por lo general este sensor puede abarcar temperaturas de medición de entre -55°C y 150°C , por lo que tiene un buen rango para medir temperaturas bastante populares. [7] Puede medir temperaturas muy frecuentes. El rango de temperaturas está limitado por la cantidad de voltajes variables que puede tener a su salida, que van desde los -550mV hasta los 1500mV . Es decir, cuando está midiendo una temperatura de 150°C ya sabemos que va a dar 1500mV en su salida. Mientras que si tenemos -550mV quiere decir que está midiendo -55°C .



Figura 8 Módulo de temperatura LM35.*Fuente: Hardware Libre*

DHT11

El DHT11 es un sensor de temperatura y humedad digital de bajo costo. Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos. Es bastante simple de usar, pero requiere sincronización cuidadosa para tomar datos. El único inconveniente de este sensor es que sólo se puede obtener nuevos datos una vez cada 2 segundos, así que las lecturas que se pueden realizar serán mínimas de cada 2 segundos. [8]



Figura 9 Sensor de humedad DHT11.*Fuente: Electronilab*

5.3. Marco Legal

5.3.1 Constitución política de Colombia (Artículo 65).

En el artículo 65 de la constitución política de Colombia dice lo siguiente: “La producción de alimentos gozará de la especial protección del estado. Para tal efecto, se otorgará prioridad al desarrollo integral de las actividades agrícolas, pecuarias, pesqueras, forestales y agroindustriales, así como también a la construcción de obras de infraestructura física y adecuación de tierras”. [9]

Es por esto que es de gran importancia proponer y dar soluciones a estas industrias, así como se plantea en la propuesta del proyecto.

5.3.2 Misión del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

En la misión del ministerio de agricultura se dice lo siguiente: “Formular, coordinar y evaluar las políticas públicas agropecuarias incluyentes que promuevan el desarrollo competitivo, equitativo y sostenible del sector agrícola, pecuario, pesquero y forestal con criterios de eficiencia, transparencia, innovación, descentralización, concertación y legalidad para mejorar las condiciones de vida de la población rural con enfoque diferencial”. [10]

Soluciones como estas podrían tener un respaldo o una buena acogida del gobierno a través del ministerio ya que este se encarga de priorizar y ejecutar planes para la producción agrícola.

5.3.3 Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (Decreto 1071 de 2015, Artículo 1.1.1.1).

En el decreto 1071 de 2015, Artículo 1.1.1. indica que: “El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural tiene a su cargo la orientación, control y evaluación del ejercicio de las funciones de sus entidades adscritas y vinculadas, sin perjuicio de las potestades de decisión que les correspondan, así como de su participación en la formulación de la política, en la elaboración de los programas sectoriales y en la ejecución de los mismos”

Es de gran importancia proponer proyectos que respalden estas necesidades; además que estos tipos de proyectos podrían tener una buena acogida ya que el gobierno enfatiza en respaldar la producción para dar una mejor calidad de vida.

5.3.4 Informe sobre los acuerdos comerciales vigentes de Colombia

De acuerdo con la Ley 1868 de 2017, “Por medio de la cual se establece la entrega del Informe anual sobre el desarrollo, avance y consolidación de los acuerdos comerciales ratificados por Colombia”, y considerando en particular el informe presentado en el año 2020 (Sección III. Resultados y política de aprovechamiento por acuerdo comercial), se evidencia que, en el año 2019, hubo importantes exportaciones de productos agroindustriales como hortalizas hacia la Unión Europea y Cuba. Mediante la tecnificación de cultivos o usos de tecnologías se puede mejorar la producción. Aumentando los índices de consumo interno y los porcentajes de exportación de dichos productos entre otros.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

La realización del presente proyecto, parte principalmente en buscar una solución al daño que producen las heladas en los cultivos, esto permitiendo ayudar a los agricultores que son los más afectados por este fenómeno climático.

Es por esto que se plantea desarrollar un prototipo capaz de mitigar estos daños en la plantación y así poder evitar pérdidas. De esta manera se presenta un diagrama con las 5 fases del proyecto como se muestra en la Fig.6. Exponiendo los procesos que se llevan a cabo en el desarrollo del proyecto.

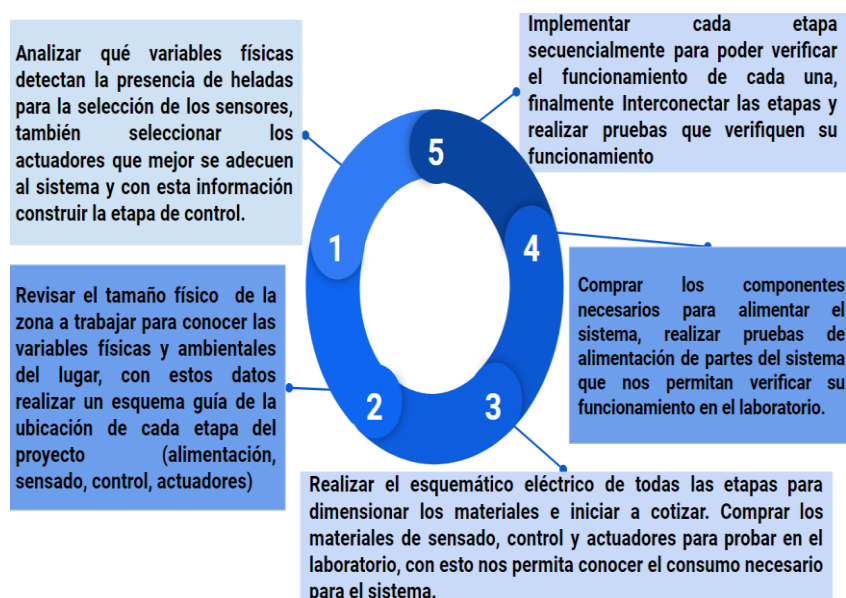


Figura 10 Fases del diseño metodológico para el desarrollo del Proyecto.

6.1 Fase 1. Análisis de variables físicas

En esta primera fase del desarrollo del proyecto, se realizan búsquedas de las variables físicas que predicen una helada esto con el fin de seleccionar los sensores idóneos para la toma de datos, así mismo se hace una selección de actuadores para el diseño de la etapa de control.

6.2 Fase 2. Selección de zona susceptible a heladas

Esta fase del proyecto, busca identificar y definir los parámetros de la zona del cultivo a tratar; se parte de la selección de un área susceptible a heladas en este caso se selecciona el municipio de Tuta Boyacá, partiendo de la temperatura más crítica que se ha presentado.

6.3 Fase 3. Diseño de prototipo

Esta fase del proyecto va de la mano con las fases anteriores, analizando las variables a tener en cuenta, como la temperatura, humedad y la zona seleccionada. Permitiendo dimensionar los materiales necesarios para el desarrollo del prototipo.

6.4 Fase 4. Selección de componentes

Esta fase del proyecto, va de la mano con la Fase 3, donde se debe tener en cuenta el análisis de las variables para la selección de los sensores y demás componentes a implementar para la ejecución del prototipo.

6.5 Fase 5. Implementación

Esta fase del proyecto, da inicio a la implementación a pequeña escala del sistema anti heladas, y se da inicio a la verificación del funcionamiento total.

.

7. DESARROLLO

Para el diseño y desarrollo del prototipo se inicia a partir del siguiente diagrama como se muestra a continuación en la figura 11. De acuerdo a 4 etapas fundamentales para el funcionamiento del sistema.

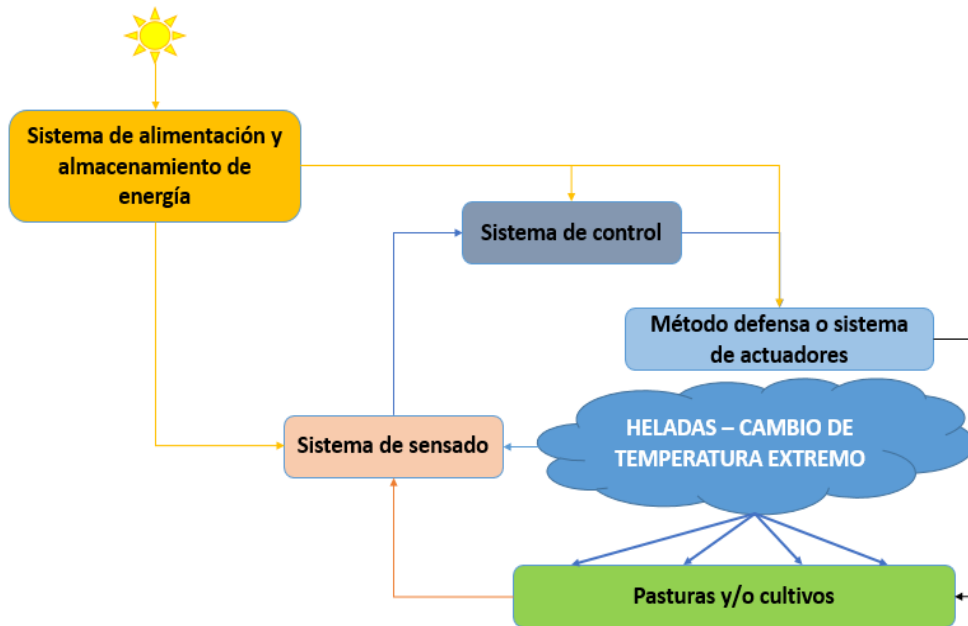


Figura 11 Diagrama de bloques para el desarrollo del Prototipo.

En la siguiente Figura 11.1 se puede observar el diseño final propuesto, el cual contiene la numeración de cada etapa, además de flechas que indican las conexiones entre ellas para permitir el funcionamiento de todo el sistema.

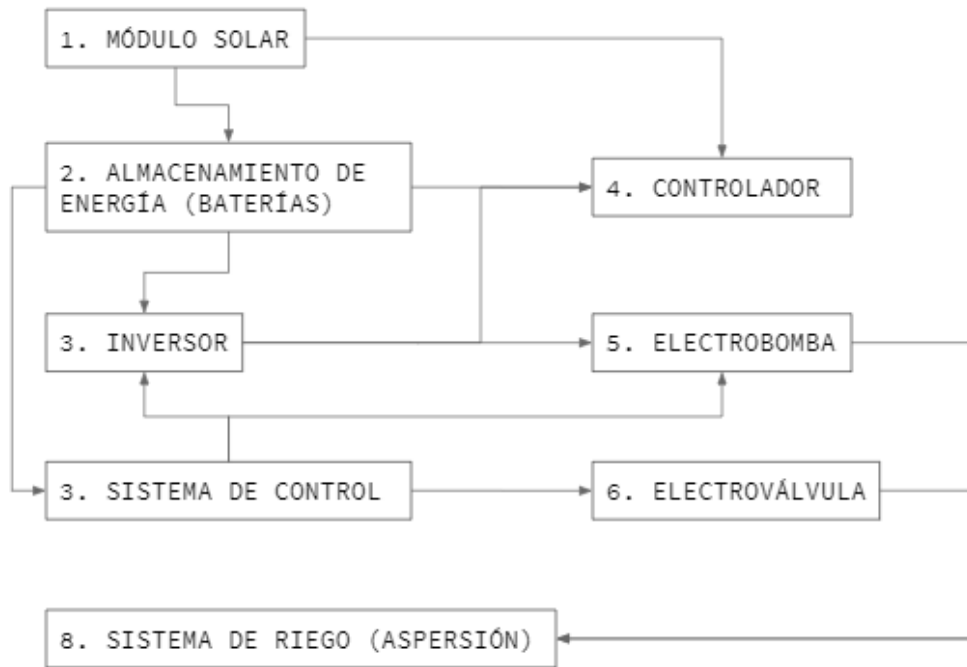


Figura 12 Diseño final propuesto. Fuente: Autor.

7.1 Capítulo I: Condiciones climáticas para pronosticar presencia de heladas.

De acuerdo a la investigación acerca de que son las heladas en el numeral entregada en el numeral 5.3.1, donde se establecen condiciones principales en las que se pueden pronosticar si se va a presentar una helada, cómo lo son:

- 1) Condición de temperatura cuando llega a 0 ° C: Cuando el mercurio se sitúa en valores negativos, es en este punto donde el líquido se congela a partir de condiciones normales.
- 2) Condición de humedad bajo el 50 %: Cuando la humedad ambiental es muy baja y el aire es tan seco que no existe condensación.

Estas dos condiciones representan un peligro en el sector agricultor, puesto que no existe suficiente humedad ambiental para generar escarcha, la cual permite que pequeños cristales hexagonales capaces de adherirse sobre cualquier superficie sólida usualmente presentadas en aspectos blanquecinos, proteja la parte interna de las plantas ya que el hielo actúa como anticongelante, pero no es un rocío congelado, más específicamente presenta la existencia del cambio de estado conocido como sublimación del vapor de agua.

En base a lo anterior, al existir ausencia de escarcha, las plantas no tendrán capa de hielo lo cual causa que estén desprotegidas haciendo que el frío seco que contienen las heladas actúe directamente sobre la estructura molecular, destruyendo el tejido interno y produciendo un color negruzco siendo mortal para cualquier tipo de cultivo. [14]

A partir de las anteriores condiciones se definen las variables de temperatura y humedad, por lo que se realizó una investigación acerca de las heladas que se han presentado en Tunja para conocer a partir de los años cuál ha sido la temperatura bajo 0 crítica. A continuación, en la Figura 11.2 se obtiene la

tabla de temperaturas mínimas absolutas y promedios ocurridas en el altiplano Cundiboyacense durante los años 1972 - 2007.

Estación		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Eldorado	Promedio	5.6	6.5	7.6	8.6	8.7	8.3	7.7	7.3	7.1	7.6	7.9	6.3
Bogotá	Absoluta	-3.0	-6.4	-3.2	0	0.7	1.0	0.4	-1.5	-0.2	0.5	-3.0	-6.0
CUN	día/año	6/77	15/95	14/78	3/72	6/84	5/74	19/86	23/77	29/73-17/92	25/91	30/77	24/74
Tibaitata	Promedio	4.6	5.6	6.8	7.8	7.9	7.2	6.6	6.2	5.9	6.9	6.9	5.4
Mosquera	Absoluta	-4.2	-5.4	-3.8	-1.0	0.0	-0.8	-1.2	-2.6	-1.4	-1.0	-3.2	-4.6
CUN	día/año	20/81	4/77	14/78-24/92	10/79	14/85	5/74	1/85	23/77	16/72	16/72	30/77	31/93
Granja Prov	Promedio	4.3	5.4	6.4	7.6	7.7	7.2	6.4	6.2	5.9	6.6	6.7	5.0
Tenjo	Absoluta	-5.5	-8.8	-5.0	-0.4	-1.6	-0.4	-2.0	-3.0	-1.8	-3.0	-4.6	-5.0
CUN	día/año	3/01	4/07	14/78-24/92	15/87	25/85	28/80	17/93	30/97	20/92	6/78	30/77	19/85
UPTC	Promedio	7.1	8.0	8.9	9.7	9.6	9.0	8.3	8.2	8.1	8.7	8.9	7.7
Tunja	Absoluta	0.0	-1.1	2.5	4.4	4.6	2.2	1.8	2.2	3.4	3.6	3.0	0.4

Figura 13 Temperatura mínima de Tunja entre los años 1972 y 2007. Fuente: IDEAM

En la siguiente figura 11.3 se puede observar el valor de la temperatura crítica de 1,1 bajo 0° C. Presente en el mes de febrero para los años de 1971 a 2011.

Estación		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
UPTC	Promedio	7,34	8,15	9,02	9,81	9,79	9,21	8,55	8,48	8,19	8,79	9,04	8,05
Tunja	Absoluta	-0,6	-1,1	-0,2	3,8	4	2,2	1,8	2,2	3,4	3,2	3	0,4

Figura 14 Temperatura mínima de Tunja entre los años 1972 y 2007. Fuente: IDEAM [16]

La siguiente Figura 11.4 se puede observar la cantidad de heladas transcurridas para los años 1985 a 2007, donde se puede verificar que los meses con mayor cantidad de heladas son diciembre, enero, febrero y parte de marzo, además según la imagen 11.2 y 11.3 el mes de febrero fue en el cual se registró el valor crítico de temperatura siendo de 1,1 ° C bajo 0.

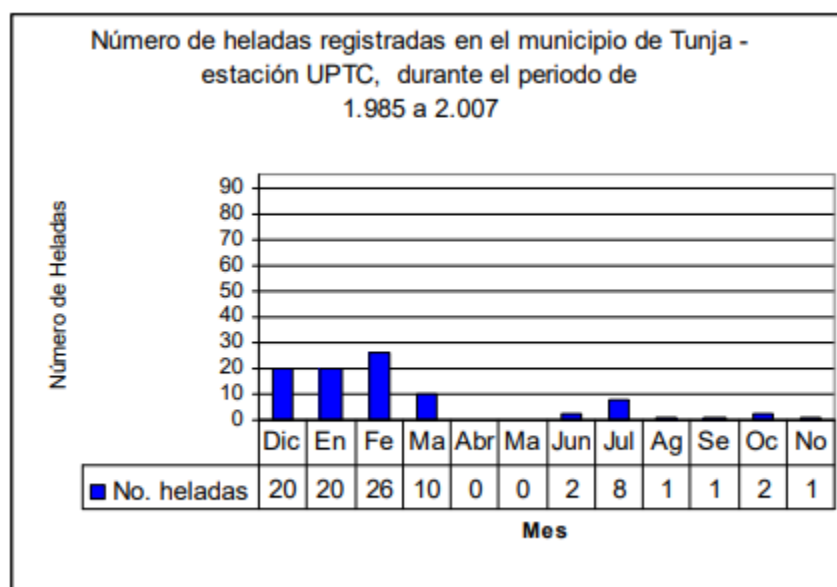


Figura 15 Gráfica Número de heladas en Tunja a partir de 1985 a 2007. Fuente: Autor

Para el valor de la humedad se seleccionó el valor más crítico teniendo en cuenta que cuando el mercurio presenta valores negativos, pero hay suficiente humedad ambiental, el valor de esta humedad está usualmente por encima del 60%. Pero en el caso de “helada negra” o congelamiento con frío seco, se utilizan valores para la humedad crítica que estén por debajo del 50 %.

7.2 Capítulo II: Selección del sistema de control adecuado para prevenir daños de heladas por radiación

Teniendo en cuenta que se debe seleccionar un método de control idóneo para la prevención de heladas, se escoge el método de control activo para el diseño de un sistema autónomo. A continuación, se pueden visualizar algunos de los métodos de control activo más utilizados para el control de presencia de heladas.

Activa	Coberturas y Radiación	Materiales orgánicos Coberturas con soporte Coberturas sin soporte
	Agua	Aspersores sobre las plantas Aspersores bajo las plantas Micro-aspersores Riego por superficie Niebla artificial
	Estufas	Combustible sólido Combustible líquido Propano
	Máquinas de viento	Horizontal Vertical Helicópteros
	Combinaciones	Ventiladores y estufas Ventiladores y agua

Figura 16 Métodos de control activo. Fuente: FAO.

El método de control activo se seleccionó puesto que se caracteriza por la generación de microclimas que puedan actuar sobre la planta con el fin de disminuir los daños que causa el enfriamiento seco. Como subcategoría se selecciona trabajar con agua, ya que al utilizar una fuente hídrica presenta mayor ventaja en comparación con las otras subcategorías. La principal ventaja que ofrece es que es una fuente natural por lo que no genera contaminación y usualmente en todos los cultivos se cuenta con reservas de agua. Además, los métodos que utilizan agua son menos costosos y su aplicación es menos peligrosa.

Por último, se decidió utilizar como método de protección los aspersores sobre plantas, estos aspersores son ideales para proteger cultivos que no crecen mucho dado que, al aplicar un método de prevención en pasturas, las hojas no presentan mayor altura. Su funcionamiento está basado en aplicar agua frecuentemente para evitar que la temperatura del tejido de la planta baje demasiado entre los pulsos de agua. Otra de las características que tienen los aspersores en comparación con otros métodos de protección es que presentan un consumo de energía considerablemente más bajo.

Para el tipo de aspersores se seleccionan aspersores de impacto que se pueden visualizar en la Figura 11.5. La selección se realizó debido que los sistemas convencionales de aspersores sobre las plantas utilizan usualmente aspersores de impacto, otro motivo de su selección es que algunos de estos aspersores cuentan con estacas, las cuales dan facilidad en el momento de montar sobre la tierra lo que disminuye la tarea y costos de crear o comprar soportes para sostener los aspersores.



Figura 17 Aspersores de impacto. Fuente: Paisajismo&Riego.

7.3 Capítulo III: Sensado de temperatura y humedad, control de actuadores.

Para el sistema de control se realizó con la tarjeta programable Arduino uno (versión 3), para el desarrollo del código se realizó el sensado del sensor DHT11 y el LM35. Con el fin de activar actuadores cómo la electroválvula y la electrobomba. Cómo se puede visualizar en la siguiente Figura 11.7.

```
void loop(void) {
  h = dht.readHumidity();
  humedad= (int(h))/10;
  delay(5); // Periodo de muestreo para el DHT11

  dato=analogRead(0); //Se captura el dato de la ADC y se guarda en el registro dato
  volta=((5.0*dato)/1023.0)-1.051; //Se realiza la conversión de binario a voltaje (regla de 3); 5v => 1023.
  temp=volta/0.01; //Se realiza la conversión de voltaje a temperatura (regla de 3), 1°C => 10mV

  Serial.print(temp);
  Serial.print(" ");
  Serial.println(h);
  if( humedad <= 4 && temp < 2){

    digitalWrite(4,HIGH);
    digitalWrite(3,HIGH);
  }

  else {
    digitalWrite(4,LOW);
    digitalWrite(3,LOW);
  }
}
```

Figura 18 Código Arduino. Fuente: Autor.

Se seleccionó el sensor DTH11, debido a que presenta ventajas frente a la precisión en la medición, además es un sensor digital que asegura su calidad y fiabilidad a largo plazo. Para la programación se utilizaron las librerías DHT.h la cual facilitó la lectura del sensor, ya que se realizó la lectura del sensor únicamente con la función `dht.readHumidity()`; cómo se puede visualizar en la Figura 11.7. Se seleccionó el sensor LM35, debido a que puede medir rangos de temperatura entre los -55° C hasta los 150 °C. Y para la medición de las heladas se caracteriza por la medición de temperaturas debajo de los 0 ° C. Para la lectura del sensor se realiza con la función `analogRead(0)`, puesto que es en el pin análogo 0 del arduino. Cómo son datos análogos se realiza la regla de 3. Mostrada en la siguiente figura 11.8. Donde se le resta un offset debido a que en el circuito real se agrega un offset para entregar datos positivos al puerto A0 del arduino dado que se agregan temperaturas negativas o lecturas de voltajes negativos.

$$^{\circ}C \text{ Temperatura} = \frac{\text{Dato} * 5v}{1023} - \text{Offset aplicado.}$$

Figura 19 Ecuación para traducir datos del sensor LM35. Fuente: Autor.

Por último, se agrega un condicional “if”, el cual se encarga de controlar la electrobomba y la electroválvula, que estas a su vez se encargan de activar los aspersores. La condición que se definió para la activación fue que la lectura del sensor de humedad fuera menor o igual que los rangos del 40% y para el caso de la temperatura que fuera menor de 2° C. Ya que cuando se presenta la helada es un transcurso de tiempo muy rápido por esto se toman temperaturas desde 1 °C.

7.4 Capítulo IV: Diseño de alimentación

7.4.1 Recurso solar y dimensionamiento de paneles solares

Para el diseño del sistema fotovoltaico, se tiene en cuenta los paneles con los cuales cuenta la facultad de ingeniería electrónica de la universidad Santo Tomás seccional Tunja, esto con el fin de dimensionar el sistema de alimentación del prototipo a desarrollar.

Teniendo en cuenta las características de estos paneles se hace un análisis para iniciar con el modelamiento matemático que permitirá determinar la cantidad de paneles que serán necesarios para el funcionamiento del sistema a implementar.

7.4.2 Radiación solar

En el diseño del sistema fotovoltaico se enfatiza en la radiación solar que presenta el mes de diciembre ya que este es un mes donde se puede presentar el fenómeno de la helada; adicionalmente se tiene en cuenta la radiación solar de la zona a implementar en este caso el municipio de Tuta Boyacá. Para esto se toman datos del IDEAM y de la aplicación power larc de la nasa.

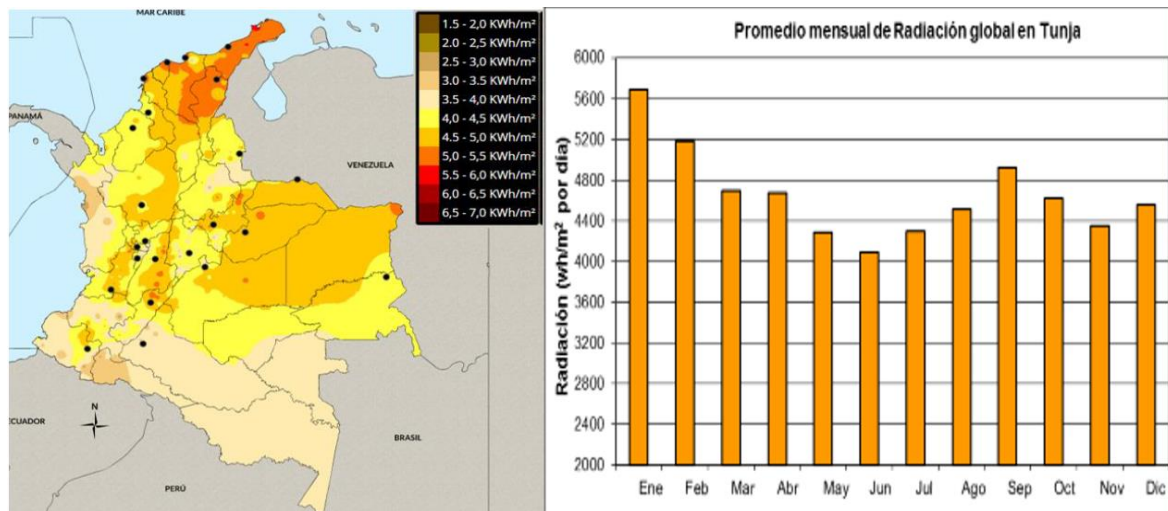


Figura 20 Atlas radiación solar en Colombia. Fuente: IDEAM.

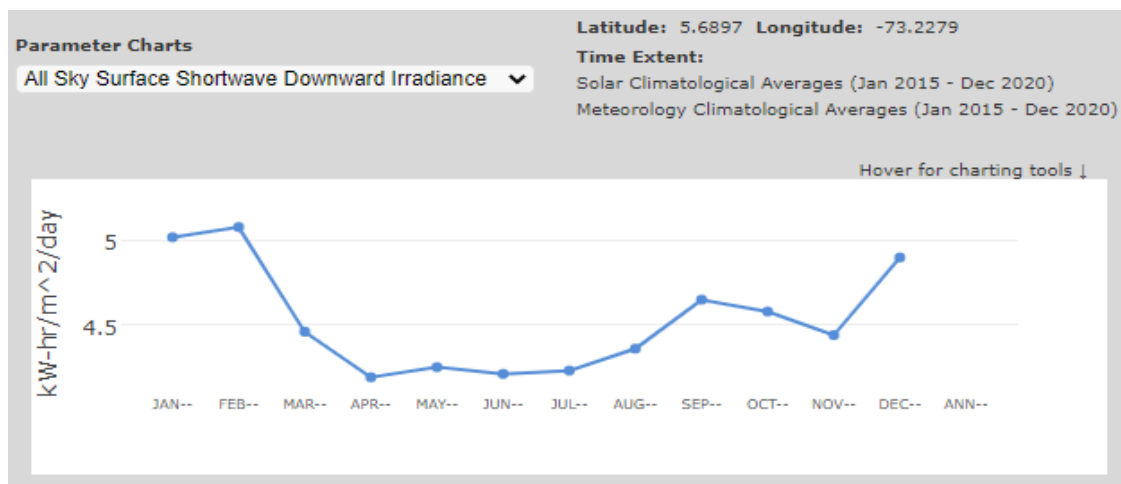


Figura 21 Radiación solar en el municipio de Tuta, Boyacá.

Como se muestra en las figuras 12 y 13 la radiación solar de Tunja y Tuta son similares lo que permite inicialmente hacer pruebas en la universidad Santo Tomás seccional Tunja.

7.4.3 Horas solar pico

Otro aspecto importante en el diseño fotovoltaico son las horas solar pico, las cuales corresponden a la cantidad de horas en donde se presenta la irradiación solar ideal equivalente a 1000 W/m², donde se puede obtener el máximo potencial que pueden entregar los paneles solares cuando el sol se encuentre situado en el punto más alto. Para el cálculo de las horas solar pico (HSP) se parte de la siguiente ecuación 1.

$$HSP = \frac{\text{Irradiación solar}}{1000 \frac{W}{m^2}} \quad \text{Ecuación 1.}$$

7.4.4 Módulo Solar

Como se mencionó anteriormente para el diseño fotovoltaico se utilizan las celdas solares con las cuales cuenta la Facultad de Ingeniería Electrónica de la universidad Santo Tomás seccional Tunja. A continuación, en la tabla 3 se muestran las características del panel a utilizar.

Tabla 3 Características del panel solar. Fuente: Autor.

Modelo	APM - 150
Potencia (P)	150.0 W
Voltaje (Vmp)	18.0 V
Corriente (Imp)	8.34 A
Voltaje circuito abierto (Voc)	23.2 V
Corriente circuito abierto (Isc)	8.87 A
Condición de prueba estándar	1 000 W/ m2
Temperatura (Tref)	25°C
Tipo de celda	Policristalina

Teniendo en cuenta las características del panel solar. Se realiza el siguiente dimensionamiento como se muestra a continuación:

- Horas solar pico. Se toma el dato de irradiación solar como se muestra en la figura 13 para el mes de diciembre ya que este es un mes susceptible a heladas finalmente se aplica la ecuación 1, con el fin de saber las horas solar pico presentes en la zona seleccionada:

$$HSP = \frac{\text{Irradiación solar}}{1\,000 \frac{W}{m^2}} \quad \text{Ecuación 1.}$$

$$HSP = \frac{4,91 \frac{KWh}{m^2}}{1\,000 \frac{W}{m^2}}$$

$$HSP = 4,91 \, h$$

- Energía generada por panel ecuación 2. Para el cálculo total de paneles se tiene en cuenta el consumo total de los elementos que componen el prototipo y el factor de pérdidas,

Tabla 4 Consumo energético diario en corriente continua. Fuente: Autor.

CONSUMO CC				
Equipo	Cantidad de Equipos	Potencia(W)	Horas/Día	Energía (W.h)
CIRCUITO	1	0,12	6	0,72
ELECTROVÁLVULA	1	0,2	2	0,4
	Potencia Total Lmd			1,12

Tabla 5 Consumo energético diario en corriente alterna. Fuente: Autor.

CONSUMO AC				
Equipo	Cantidad de Equipos	Potencia(W)	Horas/Día	Energía (W.h)
ELECTROBOMBA	1	750	2	1500
				0
	Potencia Total,Lmd			1500

Tabla 6 Consumo energético total. Fuente: Autor

	W.h
Potencia Total	1501,12
20% de seguridad	300,26
Potencia total (Lmd seguro)	1801,38

Para continuar con el procedimiento del cálculo de los paneles se toma como guía el libro Vega,2014 y se utilizan las siguientes ecuaciones:

- ❖ Energía media diaria

$$Q.MDC = \frac{LMDC}{V_{bat}}$$

Ecuación 2

$$Q.MDC = \frac{1.12}{12V}$$

$$Q.MDC = 0.11Ah$$

- ❖ Energía suministrada por cada panel

$$Q.MDF = I_{panel} * HSP * PR$$

Ecuación 3

$$Q.MDF = 8.34A * 4.91 * 0.9$$

$$Q.MDF = 63.9$$

❖ Número de paneles

$$NT = \frac{Vn}{Vod}$$

$$NT = \frac{18}{23.3}$$

Ecuación 4

$$NT = 0.775 \sim 1$$

Para el suministro energético del prototipo etapa 1 se necesita un panel de 150W.

7.4.5 Método de carga

Para el funcionamiento prototipo etapa 1 se utilizan baterías recargables de 12V ya que el sistema debe contar con funcionamiento nocturno. Para poder llevar a cabo el diseño del prototipo, las baterías son suministradas por la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

Tabla 7 Características de la batería. Fuente: Autor.

BATERÍA	
Modelo	MT12180HR
Recargable	Si
Ciclos de descarga 60%	1500 ciclos
Voltaje nominal	12V
Capacidad	20Ah
Corriente de carga máxima	6A

A continuación, se muestra el número total de baterías para el prototipo etapa 1:

❖ Capacidad mínima de baterías

$$Cmb = \frac{\text{demanda de energía total} * \text{dias de autonomia}}{\text{Profundidad de descarga} * \text{tensión del sistema}}$$

Ecuación 5

$$Cmb = \frac{1801}{0.6 * 12V} * 2 = 500Ah$$

❖ Número total de baterías requeridas

$$NT \text{ baterías} = \frac{Cmb}{\text{Capacidad batería}}$$

$$NT \text{ baterías} = \frac{500Ah}{20Ah}$$

$$NT \text{ baterías} = 25$$

7.5 Capítulo V: Implementación de etapas

- **Selección de materiales**

Se tiene en cuenta los componentes electrónicos que conformarán el circuito del prototipo etapa 1, adicionalmente se tiene en cuenta los recursos disponibles en la facultad de ingeniería electrónica.

- **Diseño Sensado**

Para el funcionamiento de la parte de sensado se hacen simulaciones en el software proteus como se muestra en la figura 14, Donde se verifica entrada y salida de los sensores utilizados DHT11 y LM35.

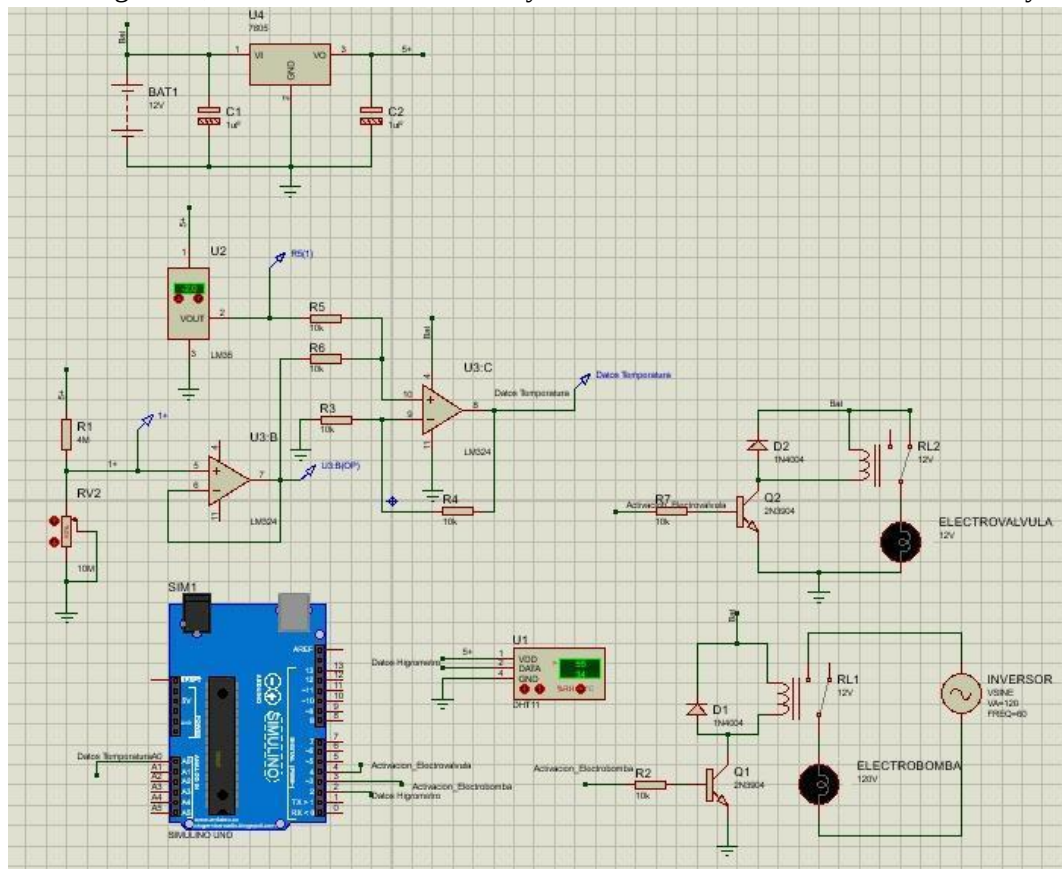


Figura 22 Diseño sistema de control. Fuente: Autor.

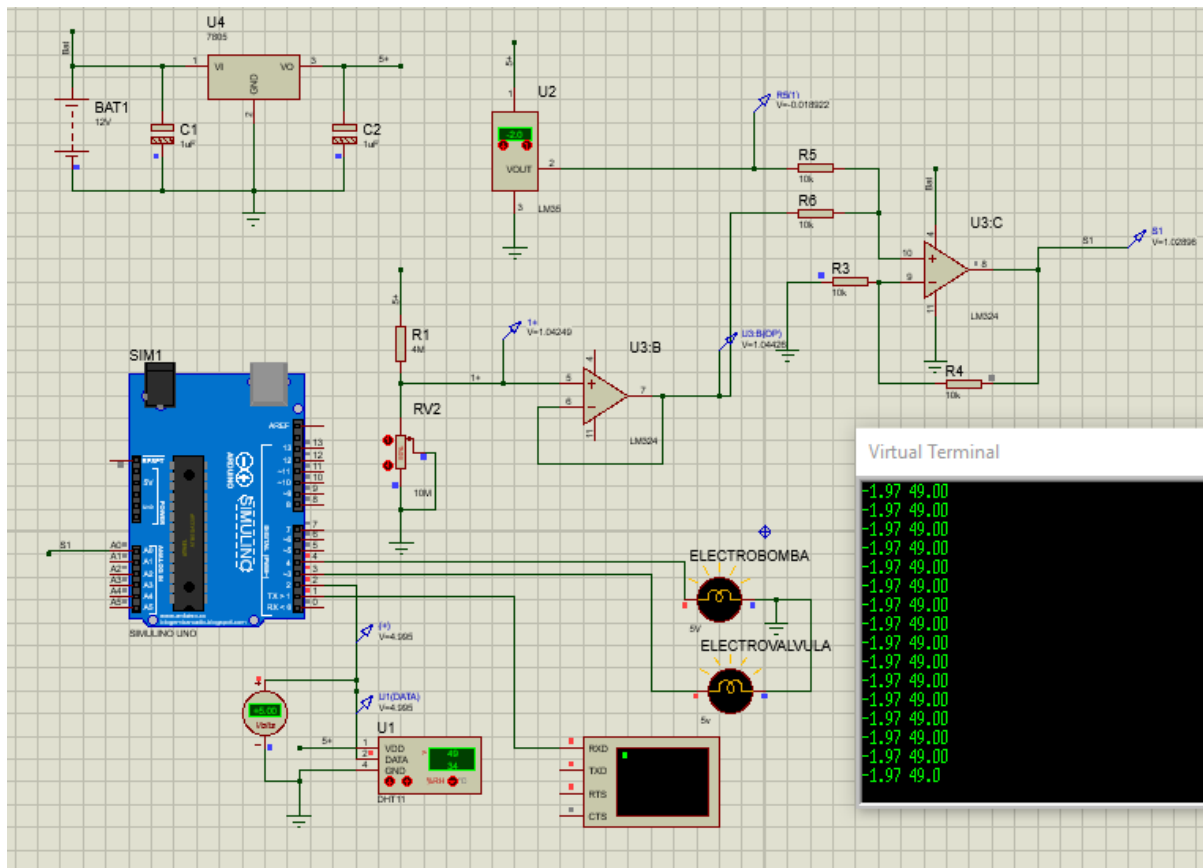


Figura 23 Resultados interpretación de sensores y activación actuadores. Fuente: Autores

Para el diseño eléctrico del sistema de control, contiene la etapa de regulación que se realiza con el integrado LM7805. El cual se encarga de la conversión de 12V, entregados por la batería a 5 V. que es con lo que se debe alimentar al Arduino.

Se realizó una etapa de amplificación con el integrado LM324, en esta etapa se realizó 1, una etapa de seguidor de tensión en el U3: B con un offset de + 1 v, el cual es entregado por un divisor de tensión utilizando valores de R1 de 4MΩ y R2 de 10MΩ, aplicando el diseño de la figura 14.2. Para entregar valores positivos a la tarjeta programable. Puesto que el sensor LM35 entrega los -55°C cómo valor de -550mV. También se realizó un sumador con seguidor de tensión en el U3: C, el cual se encarga de la suma de la señal del LM35 y la señal del offset del U3: B.

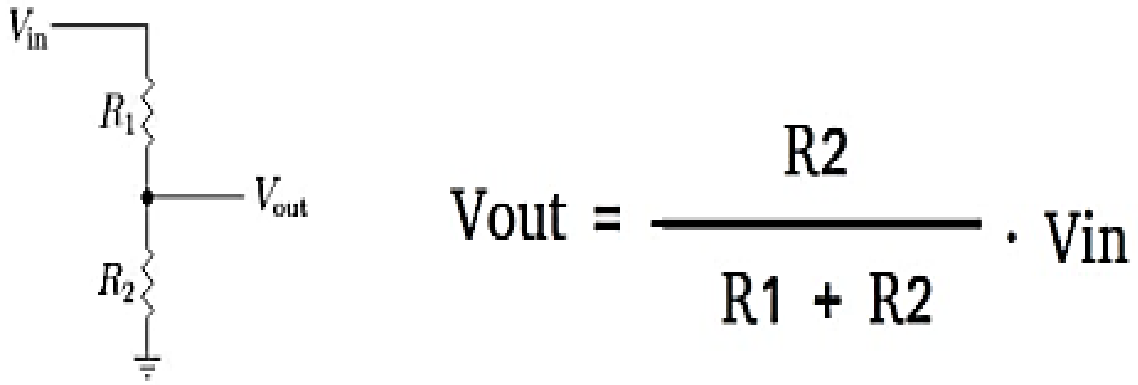


Figura 24 Divisor de tensión. Fuente: Hardware libre.

Para la activación de la electrobomba y la electroválvula se utilizaron relays normalmente abiertos de 12 v, si el transistor de la electroválvula recibía 5 v, el relay se activaba con los 12 voltios y el COM enviaba el valor de 12 v a la electroválvula. Para la electrobomba si el transistor recibe 5v relay se activaba con 12v y el COM del relé se conecta con el inversor el cual entrega 120v.

Se simuló la entrega de los datos y activación de los actuadores ubicados en el puerto digital 4 para la electrobomba y 3 para la electroválvula, por lo que se puede verificar que para temperaturas $< 2^{\circ}\text{C}$ y humedades entre el rango de los 40% se activa el relé de la electroválvula y electrobomba. A continuación, en la figura 14.3 se puede visualizar que se mantienen desactivadas la electroválvula y electrobomba cuando los valores no corresponden al condicional.

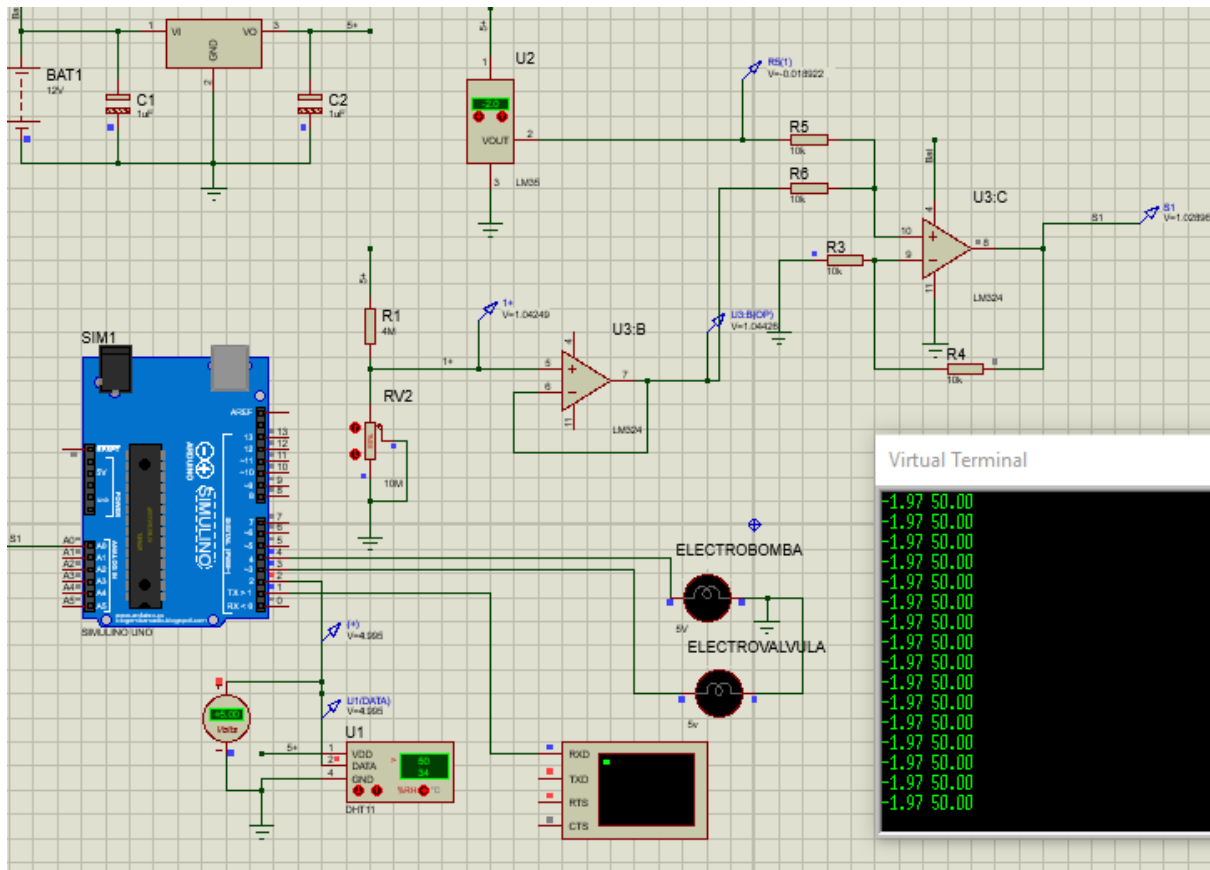


Figura 25 Aumentó la humedad al 50%. Fuente: Autores

• Diseño App

Se realiza el diseño de una aplicación móvil la cual consiste en recibir datos mediante el módulo bluetooth de arduino. Esta aplicación permite monitorear la temperatura presente en el ambiente.

El diseño de la App móvil se realiza en App inventor, a continuación, se muestra la programación la cal se realiza mediante bloque como se muestra en la figura 48.

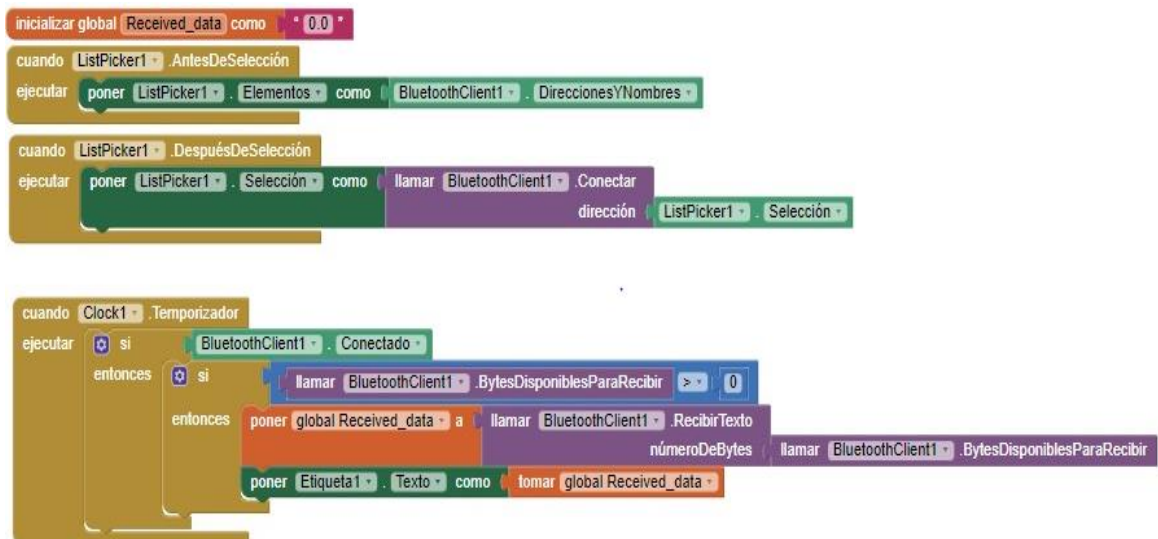


Figura 48 Programación en App inventor.

Se verifica en el software proteus el envío y la recepción de datos como se muestra a continuación.

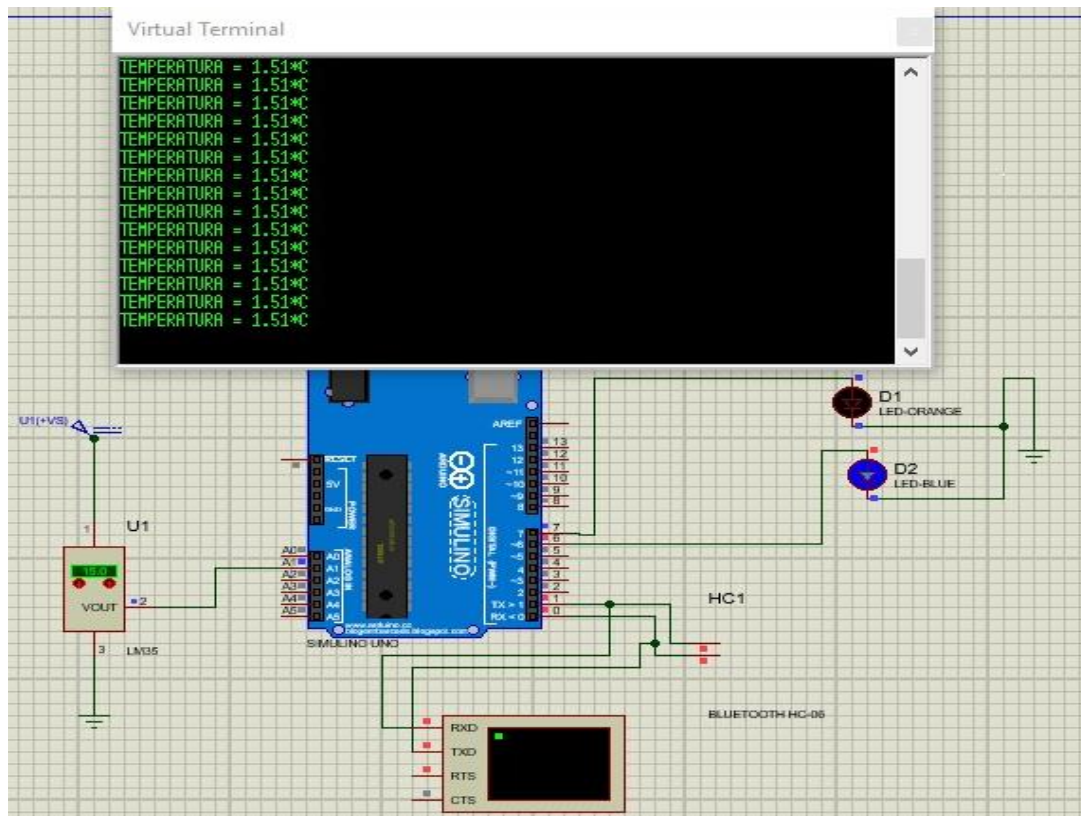


Figura 49 Simulación de aplicación mediante el software Proteus.

A continuación, se muestra el resultado y puesta en marcha de la App móvil figura 50.

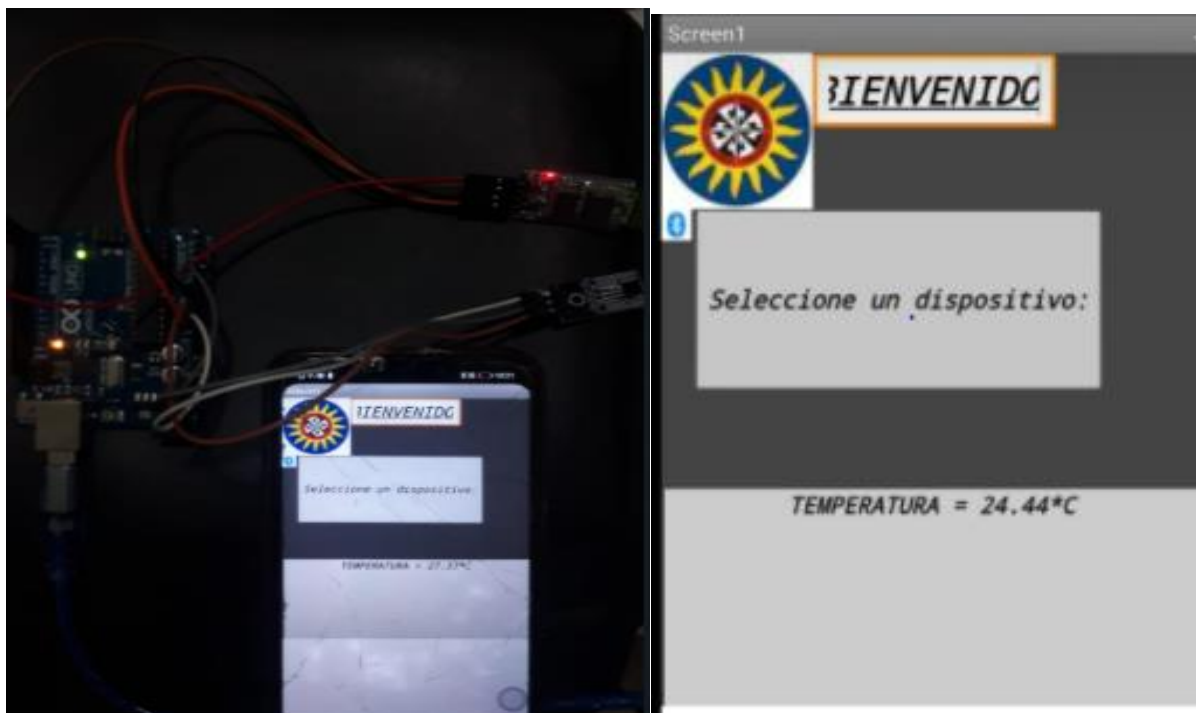


Figura 50 Funcionamiento aplicación móvil.

- **Diseño PCB**

Se realiza el diseño de la pcb en el software Proteus, para prototipo inicial etapa 1, como se muestra en la Figura. 14 y 16 donde se muestra la distribución que se le realizó a la pcb. Para llevar a cabo la fabricación del circuito, se tiene en cuenta la distancia mínima y máxima de separación que deben tener los componentes y el tamaño de los caminos.

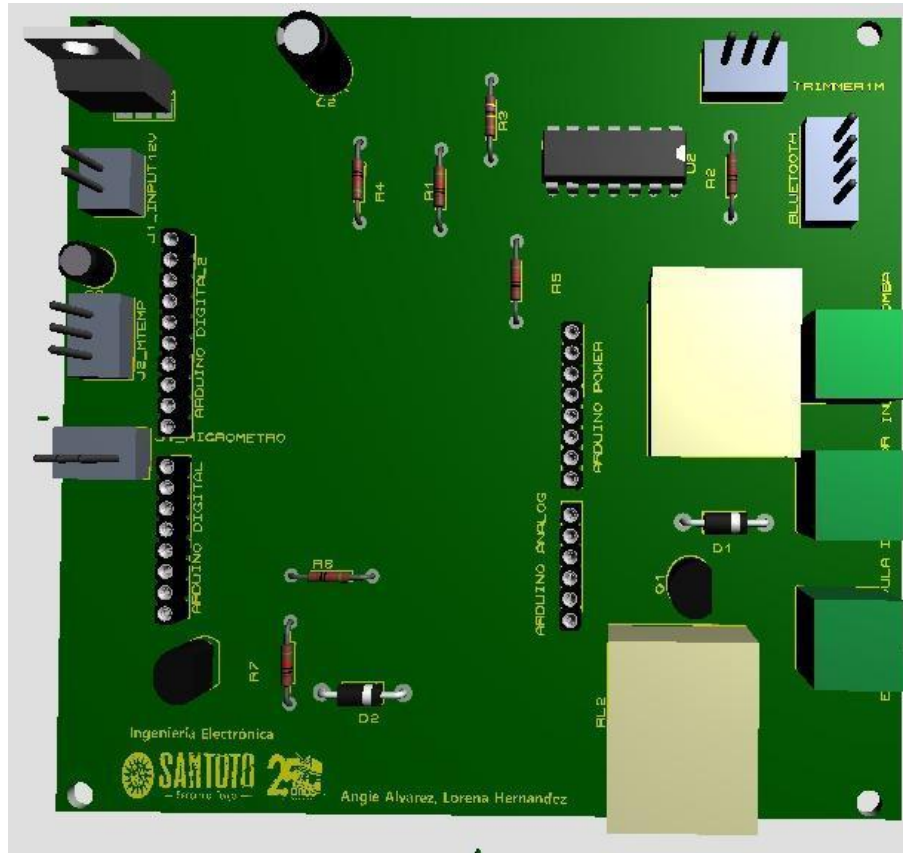


Figura 51 Diseño final PCB. Fuente: Autor.



Figura 52 Diseño final PCB. Fuente: Autor.

Se realizó la conexión de aspersores de riego, junto con la electroválvula de 12 y una electrobomba de un caballo para la etapa 1 del proyecto. Cómo se puede visualizar en la Figura 52.

Se dejaron 5 metros de distancia entre la electroválvula y electrobomba ya que la electrobomba debe estar sumergida y la electroválvula debe no debe tener contacto con el agua.



Figura 53 Conexión electrobomba con electroválvula. Fuente: Autor.

A continuación, se puede visualizar en la figura 53, la conexión de 4 aspersores de impacto conectado a 10 metros de la electrobomba hacia el primer aspersor y separación de 2 metros por cada aspersor.



Figura 54 Conexión de aspersores prueba laboratorio. Fuente: Autores

7.5. 1. Diseño para implementación del sistema de riego para control de heladas en Tuta, Boyacá, Colombia.

Se realiza un dimensionamiento real con ayuda de Google earth y el software WinSIPP3, este software fue brindado por la empresa senninger con un año de licencia. Empresa especializada en control de heladas y sistemas de aspersión real, a nivel mundial

Para el diseño real se tiene en cuenta el área específica a trabajar:

Tuta Boyacá 5°41'32.9"N 73°14'54.9"W

1. DOCUMENTACIÓN BASE - LIMITES EN GOOGLE EARTH



Figura 55 Área seleccionada para la implementación, Tuta Boyacá. Fuente: Google Earth

Resumen: Se presenta el estudio hidráulico de un sistema de riego para control de heladas con aspersores Xcel Wobbler HA de Senninger Irrigation. Para un área de aproximadamente 7.5 Ha, se evalúan 6 módulos de riego.

El sistema de riego estará compuesto por módulos, cada módulo equivalente de 1.25 Ha con aspersores Xcel Wobbler HA boquilla # 6 a 15 PSI.

2. ANALISIS ASPERORES XCEL WOBBLER HA MEDIANTE EL SOFTWARE WINSIPP 3.2

Teniendo en cuenta que existen diferentes tipos de aspersores como se muestra en la figura 56, se hace un análisis; donde el más idóneo para control de heladas es el aspersor tipo WOBBLER.



Figura 56 Tipos de aspersores. Fuente: Autor



Figura 57 Análisis de aspersores. Fuente: Autor

A partir de la figura 57 se pueden obtener los siguientes resultados necesarios para la implementación real.

Resultados:

Modelo del Aspersor Senninger Irrigation: Xcel Wobbler HA, Boquilla # 6 a 15 PSI

Caudal por aspersor: 0.94 GPM

Espaciamiento: 9 metros entre aspersores x 9 metros entre laterales

Coefficiente de Uniformidad de Christiansen: 82.40% Alta Uniformidad

Lámina Aplicada: 2.7 mm/hora

3. ANÁLISIS HIDRÁULICO MÓDULO # 1

Este módulo cuenta con 159 aspersores Xcel Wobbler boquilla 6 a 15 PSI, con un caudal de diseño de 177.85 GPM. Cuenta con tuberías laterales de 3/4" en PVC y tuberías secundarias de 2" y 3" en PVC. Para la operación de este módulo se requiere una presión mínima de 23 PSI. La variación de presión en el módulo será de un 41% con una presión máxima en el aspersor más cercano a la válvula de 24.35 PSI y una presión mínima en el aspersor más lejano a la válvula de 15.75 PSI.



Figura 58 Análisis módulo 1. Fuente: Autor.

4. ANÁLISIS HIDRÁULICO MÓDULO # 2

Este módulo cuenta con 151 aspersores Xcel Wobbler boquilla 6 a 15 PSI, con un caudal de diseño de 168.95 GPM. Cuenta con tuberías laterales de 3/4" en PVC y tuberías secundarias de 2" y 3" en PVC. Para la operación de este módulo se requiere una presión mínima de 23 PSI. La variación de presión en el módulo será de un 47% con una presión máxima en el aspersor más cercano a la válvula de 25.39 PSI y una presión mínima en el aspersor más lejano a la válvula de 15.66 PSI.

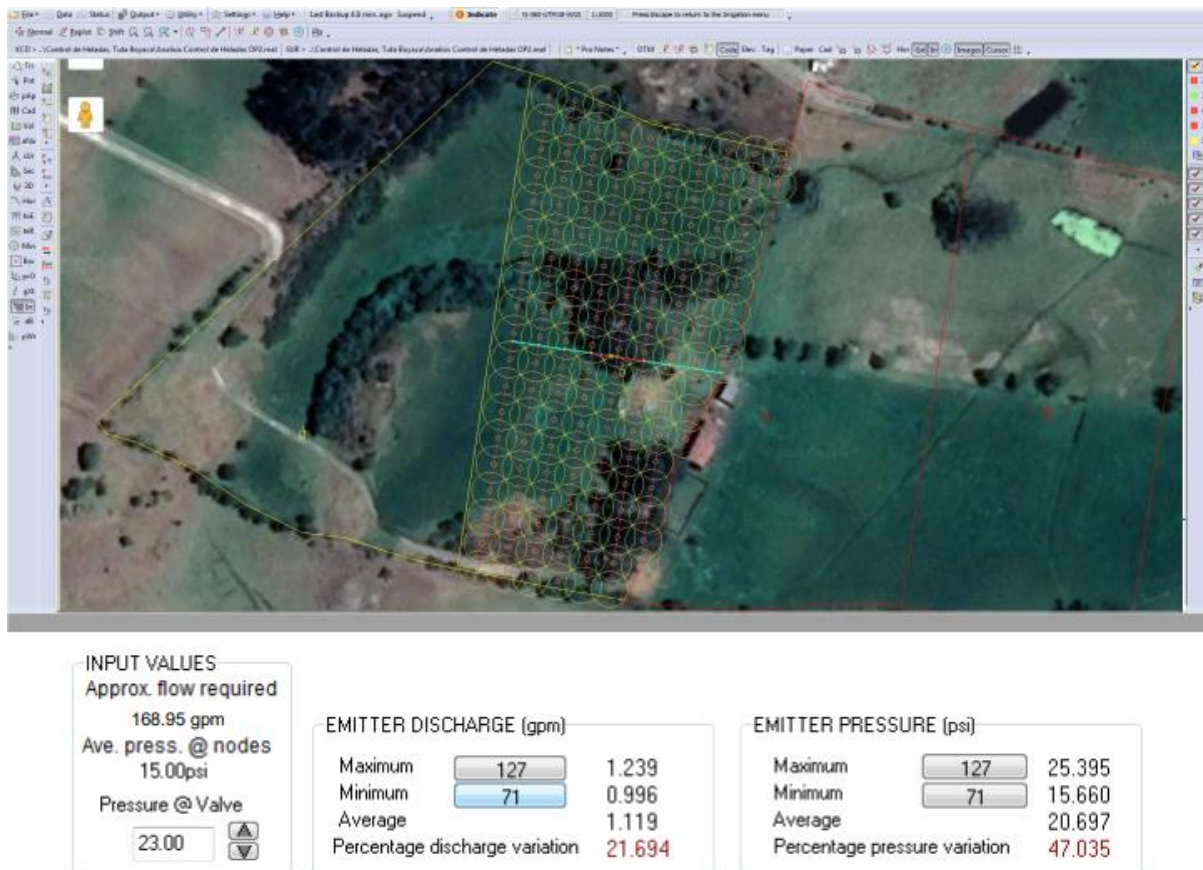


Figura 59 Análisis módulo 2. Fuente: Autor.

5. ANÁLISIS HIDRÁULICO MÓDULO # 3

Este módulo cuenta con 147 aspersores Xcel Wobbler boquilla 6 a 15 PSI, con un caudal de diseño de 158.66 GPM. Cuenta con tuberías laterales de 3/4" en PVC y tuberías secundarias de 2" y 3" en PVC. Para la operación de este módulo se requiere una presión mínima de 21 PSI. La variación de presión en el módulo será de un 37% con una presión máxima en el aspersor más cercano a la válvula de 22.53 PSI y una presión mínima en el aspersor más lejano a la válvula de 15.38 PSI.



Figura 60 Análisis módulo 3. Fuente: Autor.

6. ANÁLISIS HIDRÁULICO MÓDULO # 4

Este módulo cuenta con 157 aspersores Xcel Wobbler boquilla 6 a 15 PSI, con un caudal de diseño de 176.67 GPM. Cuenta con tuberías laterales de 3/4" en PVC y tuberías secundarias de 2" y 3" en PVC. Para la operación de este módulo se requiere una presión mínima de 24 PSI. La variación de presión en el módulo será de un 47% con una presión máxima en el aspersor más cercano a la válvula de 25.33 PSI y una presión mínima en el aspersor más lejano a la válvula de 15.39 PSI.



Figura 61 Análisis módulo 4. Fuente: Autor.

7. ANÁLISIS HIDRÁULICO MÓDULO # 5

Este módulo cuenta con 162 aspersores Xcel Wobbler boquilla 6 a 15 PSI, con un caudal de diseño de 183.60 GPM. Cuenta con tuberías laterales de 3/4" en PVC y tuberías secundarias de 2" y 3" en PVC. Para la operación de este módulo se requiere una presión mínima de 25 PSI. La variación de presión en el módulo será de un 41% con una presión máxima en el aspersor más cercano a la válvula de 24.73 PSI y una presión mínima en el aspersor más lejano a la válvula de 15.93 PSI.

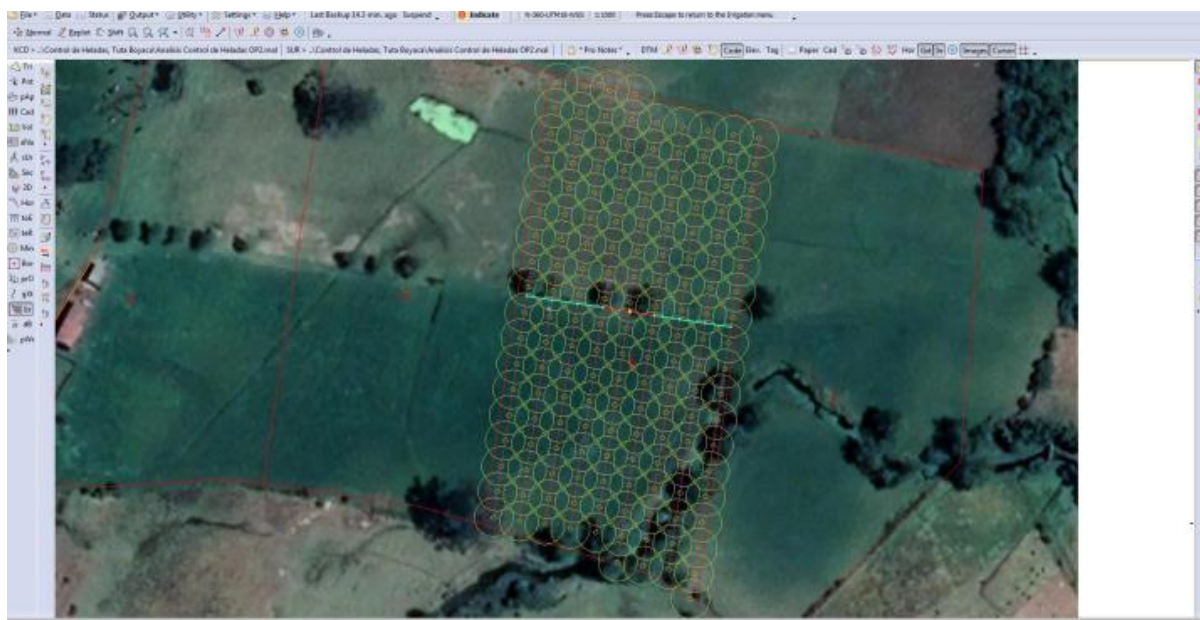


Figura 62 Análisis módulo 5. Fuente: Autor.

8. ANÁLISIS HIDRÁULICO MÓDULO # 6

Este módulo cuenta con 151 aspersores Xcel Wobbler boquilla 6 a 15 PSI, con un caudal de diseño de 175.90 GPM. Cuenta con tuberías laterales de 3/4" en PVC y tuberías secundarias de 2" y 3" en PVC. Para la operación de este módulo se requiere una presión mínima de 27 PSI. La variación de presión en el módulo será de un 49% con una presión máxima en el aspersor más cercano a la válvula de 26.57 PSI y una presión mínima en el aspersor más lejano a la válvula de 15.49 PSI.

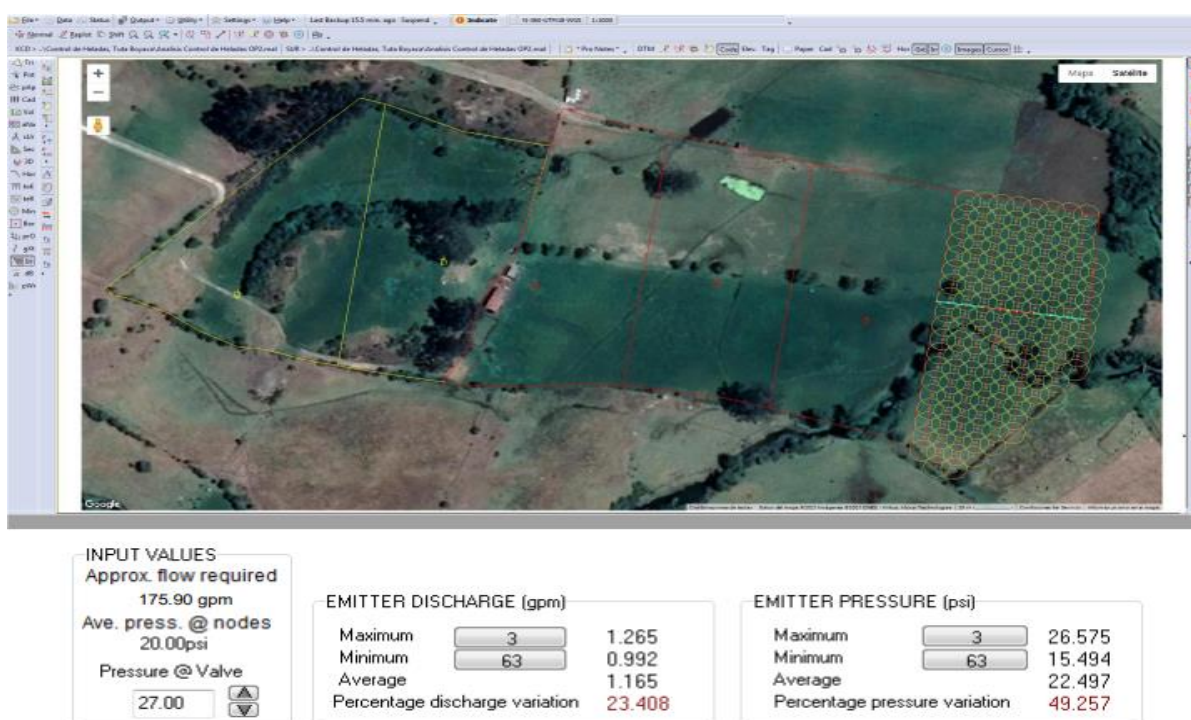


Figura 63 Análisis módulo 6. Fuente: Autor.

Finalmente se muestra el dimensionamiento total del área seleccionada como se muestra en las figuras 64 y 65.

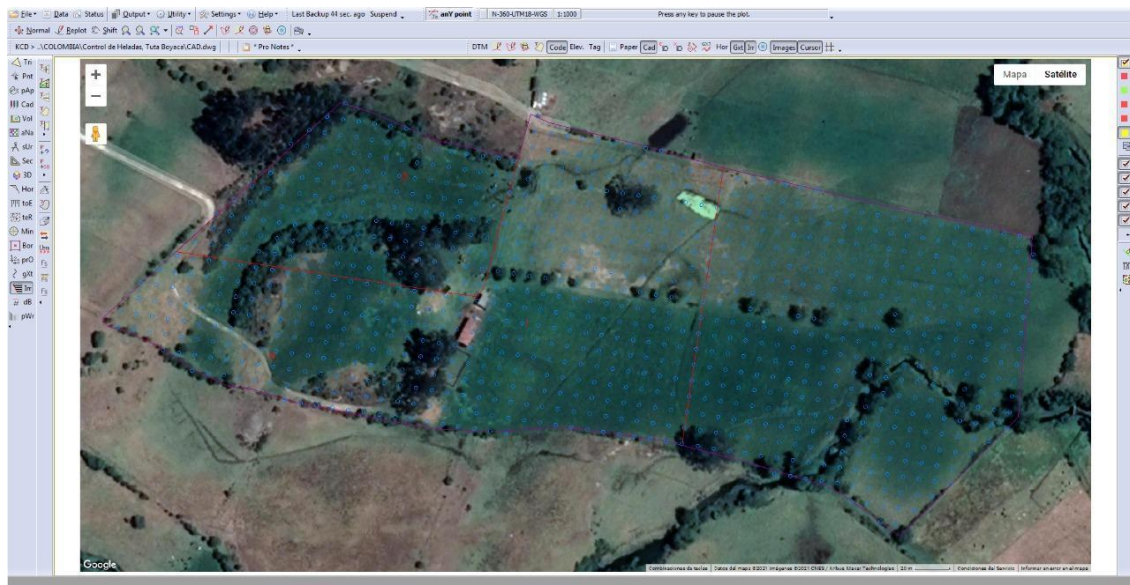


Figura 64 Dimensionamiento total para el municipio de Tuta, Boyacá. Fuente: Autor.



Figura 65 Dimensionamiento total para el municipio de Tuta, Boyacá. Fuente: Autor.

8. Otros aportes

8.1 Presupuesto

En la tabla 8, se muestran los materiales utilizados para el desarrollo del prototipo, mostrando el valor total de cada uno de los elementos implementados.

Tabla 8 Tabla presupuesto etapa 1. Fuente: Autores.

Elemento	Cantidad	Precio Unitario (COP)	Precio Total (COP)
Arduino Nano	1	\$ 23.000	\$ 23.000
Electrobomba 1HP	1	\$ 213.900	\$ 213.900
Electroválvula 12V	1	\$ 30.000	\$ 30.000
Sensor DHT11	1	\$ 115.000	\$ 9.000
Módulo LM35	1	\$ 9.000	\$ 9.000
Regulador LM7805	1	\$ 1.000	\$ 1.000
Amplificador LM324N	1	\$ 3.200	\$ 3.200
Relés 12VDC	2	\$ 4.200	\$ 8.400
Trimmer 306E 105M	1	\$ 2.900	\$ 2.900
Celda solar 150W	1	\$ 275.000	\$ 275.000
Batería MT12180HR	25	\$ 215.000	\$ 5.375.000
Aspersor plástico PRETUL	4	\$ 19.000	\$ 76.000
PCB Control	1	\$ 50.000	\$ 50.000
TOTAL			\$ 5.751.675

9. Conclusiones

1. Este prototipo está orientado a realizar pruebas, debido que los componentes utilizados como aspersores soportarían temperaturas bajo 0° temporalmente, ya que en un transcurso de 2 a 3 meses el material se cristalizaría. Para un funcionamiento continuo se recomienda utilizar aspersores de mejor calidad como la marca “Senninger” que tienen un tipo de aspersor en caucho el cual evita que se congele y resiste caídas o golpes.
2. El factor más importante para poder desarrollar un sistema por aspersión que mitigue el daño que causan las heladas en los cultivos es contar con un sistema de disponibilidad de agua puesto que es el principal componente que protege al transferir energía en la intensidad suficiente para garantizar el bienestar de la totalidad de la plantación.
3. El diseño de este proyecto está orientado a plantas como pasturas, trigo, entre otros. Debido a que son plantas que se fracturan con mayor facilidad iniciando muerte celular a los $-0,2^{\circ}\text{C}$, pero existen cultivos con mayor resistencia al congelamiento, en algunos frutales como el durazno se inicia a los -2°C , con lo anterior se concluye que al iniciar a diseñar el sistema de control se debe conocer primero el tipo de cultivo y su resistencia al congelamiento.
4. Teniendo en cuenta las anteriores conclusiones, se debe garantizar entregar una cantidad de agua con cierta frecuencia, según la FOE los valores deben ser de 1 mm/h por cada 1°C bajo 0. Por lo que es importante elegir aspersores que cuenten con cambio de boquilla o seleccionar un aspersor que contenga la boquilla de diámetro adecuado para que entregue la cantidad de agua necesaria según el cultivo.
5. Para la alimentación del sistema es importante utilizar gran cantidad de baterías o alimentar con baterías de gran capacidad en corriente A/h. Debido que el sistema debe prever o estar activo todo el tiempo que la helada esté presente, lo cual requiere que brinde gran capacidad de energía durante las madrugadas la cantidad de horas que dure la helada.
6. Al realizar el diseño en la finca de Tuta, se hizo la división módulo a módulo debido a que el tamaño de la finca es de 7,5 ha y que cuenta con diferentes relieves. Lo cual no es conveniente hacer, ya que el control de heladas ideal debe ser total de forma que riegue todo.
7. Sobre el diseño a gran escala ubicado en el municipio de Tuta, se logró concluir que no es viable aplicar energía solar como fuente de alimentación debido que es un área muy extensa, cuenta con grandes cantidades de aspersores, además de caudales muy altos. Por lo que tampoco factible implementar este diseño en base al factor económico en base la cantidad de puntos de sistema de alimentación, cantidad de aspersores y sistemas de control necesarios para abastecer la totalidad del cultivo, siendo que en Tuta se presentan muy pocos casos de heladas y su temperatura crítica de -1°C es menor que la temperatura crítica de la ciudad de Tunja.

10. ANEXOS

- Resumen congreso internacional de Ingeniería 2021 - III CIDIFAM y VI CICT

My Submissions for 6to CICT, 3er CIDIFAM

Using the submission author environment you can view or manage your submissions to 6to CICT, 3er CIDIFAM. You can make new submissions or update your previous submissions.

To **make a new submission** click on "New Submission".

To **view or update your existing submission** click on the corresponding "view" icon.

Additional information about submission to 6to CICT, 3er CIDIFAM can be found at the [6to CICT, 3er CIDIFAM Web page](#).

Questions about submissions can be sent to the conference contact email adolfo.avila@usantoto.edu.co.

Please note that if you do nothing (not even click on the menu) for more than two hours, your session will expire and you will have to log in again.

#	Authors	Title	View	paper
19	Angie Alvarez Alfonso and Angie Hernández Oropeza	SISTEMA ELECTRÓNICO AUTOMATIZADO PARA EVITAR DAÑOS POR CONGELACIÓN EN LOS CULTIVOS IEEE EDS - ETAPA 1		

Figura 42. 1Evidencia ponencia 3 CIDIFAM. Fuente: Autores.

- Parte 1 del código en arduino, donde se definen que tipos de variables se van a utilizar, librerías, entre otros.

```
#include <DHT.h>           // Librería del sensor DHT
#define DHTPIN 2           // El sensor se conectará al pin 2
#define DHTTYPE DHT11      // El sensor es de referencia DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // Configuración del Pin y Referencia del sensor
#include <SoftwareSerial.h>

int dato, humedad;         //Variable para guardar el dato de la ADC
float volta,temp, h, T;    //Variables para guardar las conversiones de dato(binario) a voltaje, y de voltaje a *Celcius
                           //Variables para guardar los valores de humedad y temperatura del DHT11

void setup() {
  dht.begin();
  Serial.begin(9600);
  pinMode(3,OUTPUT);
  pinMode(4,OUTPUT);
  digitalWrite(4,LOW);
  digitalWrite(3,LOW);
}
```

Figura 43. Código arduino. Parte 1.

- Conexión electroválvula 12 en la manguera ½ “.



Figura 44. Conexión electroválvula. Fuente: Autores.

- Conexión para acople de la electrobomba de 1 hp y 120 v de energización, de tipo sumergible con la manguera $\frac{1}{2}$ “.



Figura 45. Conexión acople electrobomba sumergible. Fuente: Autores.

- Conexión acople de aspersores de tipo impacto, con la manguera de $\frac{1}{2}$ ”.



Figura 46. Conexión aspersores. Fuente: Autores.

- Alimentación de panel a la batería de 12 v, conexión controlador, batería, celda fotovoltaica e inversor para alimentar la electrobomba.



Figura 47. Conexión y medición sistema energización. Fuente: Autores.

11. REFERENCIAS

[1] FAO. Volumen I. “*PROTECCIÓN CONTRA LAS HELADAS: FUNDAMENTOS, PRÁCTICA Y ECONOMÍA*”. Sacado el 15/11/2021, fuente:

<https://www.fao.org/3/y7223s/y7223s.pdf>

[2] IDEAM. Contrato N°201 de 2012. “*Actualización nota técnica heladas 2012*”. Sacado el 15/11/2021, fuente:

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21147/Documento+FINAL+actualizacion+nota+tecnica+heladas.pdf/e10a0183-62e6-410a-8e96-7e0739f6f06b>

[3] FENALCE, (febrero 2021), “*BOLETÍN DE HELADAS EN EL ALTIPLANO CUNDIBOYACENSE*”.

Sacado el 01/11/2021, fuente: <https://www.fenalce.org/archivos/boletinheladas.pdf>

[4] IDEAM (1984), “El riego por goteo: conceptos, sistemas y características”. Sacado el 25/10/2021, fuente:

http://documentacion.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=5405&shelfbrowse_itemnumber=5490

[5] Valdivielso, A. “*¿En qué consiste el riego por goteo?*”. Sacado el 29 de octubre del 2021, fuente:

<https://www.iagua.es/respuestas/que-consiste-riego-goteo>

[6] Mundo Riego, “*Ventajas y características del riego por aspersión*”. Sacado el 29 de octubre de 2021, fuente:

<https://mundoriego.es/ventajas-y-caracteristicas-del-riego-por-aspersion/>

[7] Isaac. “*LM35: información completa sobre este sensor de temperatura*”, sacado el 02/11/ 2021, fuente:

<https://www.hwlibre.com/lm35/>

[8] Electronilab, “*Sensor de Temperatura y Humedad*”. Sacado el 08 de noviembre 2021, fuente:

<https://electronilab.co/tienda/sensor-de-temperatura-y-humedad-dht11/>

[9] Constitución Política de Colombia, “*Artículo 65*”. Sacado el 08 de noviembre 2021, fuente:

<https://www.constitucioncolombia.com/titulo-2/capitulo-2/articulo-65>

[10] Ministerio de Agricultura y Desarrollo social, “*Misión y Visión*”. Sacado el 02/11/2021, fuente:

<https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/quienes-somos/Paginas/Quienes-somos.aspx>

[11] Ministerio de Agricultura y Desarrollo social, “*Decreto 1071*”. Sacado el 02/11/2021, fuente:

<http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/30019931/>

[12] Grupo Banco Mundial, “*Agricultura, valor agregado (% del PIB) - Colombia*”. Sacado el 02 de octubre de 2021, fuente:

<https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.AGR.TOTL.ZS?end=2020&locations=CO&start=2015>

[13] Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Actualización Lunes 05/11/2015). “*Tan solo el 0,3 por ciento de todo el territorio colombiano corresponde a áreas urbanas: IGAC*”. Sacado el 06 octubre de 2021. Fuente: <https://igac.gov.co/es/noticias/tan-solo-el-03-por-ciento-de-todo-el-territorio-colombiano-corresponde-areas-urbanas-igac>

[14] Esteve, J. (2014, agosto 14). Heladas blancas y negras. Elpais.com. https://elpais.com/elpais/2014/08/14/actualidad/1408032803_901804.html

[15] Mayorga, R. González, Y. Hurtado, G. (octubre 2008).” *LAS HELADAS EN COLOMBIA DOCUMENTO TÉCNICO DE RESPALDO A LA INFORMACIÓN EN LA PÁGINA WEB DEL IDEAM* “Sacado el 05/11/2021, fuente: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21147/NotaTecnicaHeladas.pdf/f41ceadf-5c88-4a60-bf77-ec1849abf747>

[16] Senninger, “*Catálogo - Riego mecanizado: Baja presión - Alto rendimiento*”. Sacado el 05 de septiembre de 2021, fuente: <https://www.senninger.com/es/documents/catalogo-productos-riego-pivote.pdf>

12. BIBLIOGRAFÍA

- Apaza, D. La Torre, J. (2017). «diseño e implementación de un sistema automatizado para riego tecnificado basado en el balance de humedad de suelo con tecnología arduino en el laboratorio de control y automatización epime 2016». universidad nacional del altiplano.
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5970/Apaza_Mamani_Darwin_Fray_La_Torre_Javier_Irvin_Jhons.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Briceño, i. (2020, 17 enero). Las heladas siguen causando problemas a agricultores y productores de leche. Radio Santa fe 1070 a.m. Bogotá.
<http://www.radiosantafe.com/2020/01/17/heladas-siguen-causando-problemas-a-agricultores-y-productores-de-leche/>
- Calvo, a. (2021, 9 febrero). Sistemas de control de heladas para plantaciones frutales. agroptima. <https://www.agroptima.com/es/blog/sistemas-control-heladas-plantaciones-frutales/>
- capítulo 2: los métodos recomendados de protección contra las heladas. (s. f.). heladas, fundamentos, práctica y economía. recuperado 4 de mayo de 2021, de <http://www.fao.org/3/y7223s/y7223s03.pdf>
- Gómez, j. Molina, j. (2012). sistema para la disminución de daños causados por las heladas. corporación universitaria minuto de dios.
https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/2830/tte_molinaortizjose_2012.pdf?sequence=1&isallowed=y
- González, o. torres, f. (2012). actualización nota técnica heladas 2012. ideam.
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21147/documento+final+actualizacion+nota+tecnica+heladas.pdf/e10a0183-62e6-410a-8e96-7e0739f6f06b>
- Ideam, agronet, mesa técnica agroclimática nacional. (2021, febrero). boletín agroclimático nacional - edición 74. min agricultura.
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/113436056/boletin+agroclim%3a1tico+nacional-febrero.pdf/4feec482-a7c5-47e7-b6f5-88b53e4cdb8c?version=1.0>
- Martínez, l. Ibacache, a. rojas, l. (2008). Capítulo 4 - las heladas en la agricultura. instituto de investigaciones agropecuarias. no. 184.
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/7258/nr36095.pdf?sequence=1&isallowed=y>
- Ministerio de agricultura y desarrollo rural – secretaría de agricultura departamental Boyacá unidad administrativa especial para la gestión del riesgo de desastres-uaegtrd instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales-ideam. (2020). circular. min agricultura.
https://www.boyaca.gov.co/wp-content/uploads/2020/12/324.circular-gob-boyaca%cc%81-heladas_v3.pdf
- Minagricultura (2021, 4 enero). El tiempo.
<https://www.eltiempo.com/economia/sectores/heladas-en-colombia-minagricultura-lanza-alerta-a-cultivadores-por-riesgo-de-heladas-558591>

Sistema de protección contra las heladas pataquiva, (2013). empleando energía solar y telemetría. Universidad piloto de Colombia.
<http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00000952.pdf>

Ramírez, n. (2012). Diseño de un sistema automático de defensa contra las heladas aplicable a un cultivo de papa en el altiplano cundiboyacense, empleando telemetría. Universidad piloto de Colombia.
<http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00000295.pdf>

Snyder, r. Melo, p. villar-mir, j. (2010). volumen 1: protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación roma.
<http://www.fao.org/3/y7223s/y7223s.pdf>

Vásconez, j. chamba, f. (2013, mayo). “diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y controlado de forma inalámbrica para una finca ubicada en el sector popular de balerio estacio”. Universidad politécnica salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5304/1/ups-gt000434.pdf>

www.optimizacion-online.com. (2016, 9 marzo). control de heladas en agricultura. Bienvenidos al blog. <https://h2otek.com/blog/control-de-heladas-en-agricultura/>

Netafim (2018). CONTROL DE HELADAS CON AGUA-NETAFIM
Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=3NLli8SScE>.